



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS  
MESTRADO EM METEOROLOGIA**

**EFEITO DA VEGETAÇÃO EM SIMULAÇÕES NUMÉRICAS  
COM O MODELO RAMS**

**MARIA LUCIENE DIAS DE MELO**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**ORIENTADORES: Prof. Dra. Célia Campos Braga  
Prof. Dr. Enio Pereira de Souza**

**CAMPINA GRANDE - PB  
Fevereiro de 2003**

MARIA LUCIENE DIAS DE MELO

**EFEITO DA VEGETAÇÃO EM SIMULAÇÕES NUMÉRICAS  
COM O MODELO RAMS**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado  
em Meteorologia da Universidade Federal de  
Campina Grande em cumprimento às  
exigências para a obtenção do grau de mestre.

Área de concentração: Meteorologia de Meso e Grande Escala  
Subárea: Climatologia e Modelagem Numérica de Tempo

Orientadores: Prof. Dra. Célia Campos Braga  
Prof. Dr. Enio Pereira de Souza

Campina Grande – PB  
Fevereiro de 2003



M528e  
2003

Melo, Maria Luciene Dias de  
Efeito da vegetação em simulações numéricas com o  
Modelo  
RAMS/Maria Luciene Dias de Melo. – Campina  
Grande: UFCG, 2003.  
108 p. : il.

Inclui Bibliografia  
Dissertação (Mestrado em Meteorologia) UFCG /  
CCT / DCA

1. Índice de Vegetação 2. Fluxos de Superfície  
3. RAMS

CDU: 551.509.313.4

MARIA LUCIENE DIAS DE MELO

EFEITO DA VEGETAÇÃO EM SIMULAÇÕES NUMÉRICAS COM O  
MODELO RAMS

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 25/02/2003

BANCA EXAMINADORA

  
Dra. CELIA CAMPOS BRAGA

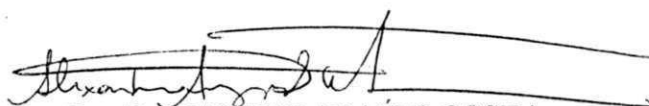
Departamento de Ciências Atmosféricas  
Universidade Federal de Campina Grande

  
Dr. ENIO PEREIRA DE SOUZA

Departamento de Ciências Atmosféricas  
Universidade Federal de Campina Grande

  
Dr. JOSÉ IVALDO BARBOSA DE BRITO

Departamento de Ciências Atmosféricas  
Universidade Federal de Campina Grande



Dr. ALEXANDRE ARAÚJO COSTA

Departamento de Física  
Universidade Estadual do Ceará



## **DEDICATÓRIA**

*Dedico todo esforço necessário à conclusão deste trabalho primeiramente a mim, que em nenhum momento vacilei. Aos meus pais Damião Tito e Lúcia Dalva e a minha irmã Maylê Luanna pelo incentivo, amor e lições de vida ao longo da caminhada. E ao meu namorado Antônio de Pádua pela paciência e companheirismo.*

## AGRADECIMENTOS

A Deus minha gratidão por chegar até aqui, vitoriosa pela conquista obtida depois de tanta luta, incertezas e dificuldades;

Ao curso de Mestrado em Meteorologia do Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal de Campina Grande pela oportunidade;

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão de bolsa de estudo;

Aos professores Dra. Célia Campos Braga e Dr. Enio Pereira de Souza pela orientação;

Aos professores e funcionários do Departamento de Ciências Atmosféricas, em especial a Enga. Eyres Diana Ventura Silva e Divanete C. Rocha por estarem sempre dispostas a ajudar;

Aos meus irmãos, familiares e amigos por serem força e paciência e por estarem sempre presentes;

E finalmente a todos que direta ou indiretamente contribuíram para realização deste trabalho.

## RESUMO

Analisou-se a influência da cobertura vegetal na configuração dos parâmetros de superfície, através do modelo "Regional Atmospheric Modeling System" (RAMS). O índice de área foliar (IAF) e a fração de cobertura vegetada (Vfrac) foram estimados a partir de dados quinzenais do índice de vegetação por diferença normalizada (IVDN), obtido de imagens de satélite do AVHRR/NOAA, reduzidos para pontos de grade de  $5,5 \times 5,5 \text{ km}^2$ . A região de estudo foi o Nordeste do Brasil para os meses de abril de 1983 e 1986. Os parâmetros estimados foram introduzidos no modelo RAMS e simulações de cinco dias foram feitas para avaliar o seu impacto.

Uma vez que os dados estimados de IAF e Vfrac foram menores do que os tabelados no RAMS, observou-se um aumento do fluxo de calor sensível e uma diminuição do fluxo de calor latente. A atmosfera na camada limite turbulenta tornou-se mais quente e seca. A quantidade de radiação solar que atinge a superfície não foi afetada. Por outro lado, a radiação de onda longa emitida aumentou, como consequência do aumento da temperatura em superfície. Apesar da diminuição da evapotranspiração, observou-se um aumento da precipitação convectiva. A análise por região homogênea mostrou que o maior impacto ocorre na Caatinga.

## ABSTRACT

The atmospheric model Regional Atmospheric Modeling System (RAMS) is used in order to analyze the influence of the vegetation coverage on the configuration of surface parameters. The leaf area index (LAI) and the vegetation fraction (Vfrac) were estimated from bi-weekly data of normalized difference vegetation index (NDVI) obtained from images of the satellite AVHRR/NOAA reduced to a grid of 5.5 by 5.5 km<sup>2</sup>. The region studied was Northeast Brazil, for April of 1983 and 1986. The estimated parameters were introduced into RAMS and five-day simulations were performed to evaluate their impact.

Since the estimated values of LAI and Vfrac were smaller than those tabulated in RAMS, an increase in sensible heat flux and a decrease in latent heat flux were observed. The atmosphere became warmer and dryer in the turbulent boundary layer. The amount of solar radiation reaching the ground was not affected. On the other hand, the long wave radiation emitted increased in view of the surface temperature increase. Although evapotranspiration decreased, convective precipitation was enhanced along the simulation. Analysis for each homogeneous region showed that the greatest impact occurs in *Caatinga*.

## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	x
LISTA DE TABELAS.....	xvi
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS.....	xvii
LISTA DE APÊNDICES.....	xix
1. INTRODUÇÃO.....	20
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	24
3. MATERIAL E METODOLOGIA.....	30
3.1. Material.....	30
3.1.1. Sistema de Sensores do AVHRR/NOAA.....	30
3.1.2. O Modelo “Regional Atmospheric Modeling System – RAMS”.....	33
3.1.2.1. Características do Modelo RAMS para as Simulações.....	35
3.1.3. Dados de Reanálises do NCAR/ NCEP.....	39
3.1.4. Dados do IVDN derivados do AVHRR/NOAA.....	40
3.1.5. Dados da Vegetação.....	41
3.2. Metodologia.....	45
3.2.1. Índice de Vegetação por Diferença Normalizada – IVDN.....	45
3.2.2. Índice da Área Foliar (IAF).....	46
3.2.3. Fração Vegetada.....	48
3.2.4. Modificação dos Parâmetros da Vegetação.....	49

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	51
4.1. Fluxo Médio de Calor Sensível para a Região Nordeste do Brasil.....	51
4.1.1. Ciclo médio de Calor Sensível para cobertura Caatinga.....	54
4.1.2. Ciclo médio de Calor Sensível para cobertura Floresta e Babaçu.....	56
4.2. Ciclo médio do Fluxo de Calor Latente no NEB.....	58
4.2.1. Ciclo médio de Calor Latente para a Caatinga no NEB.....	60
4.2.2. Ciclo médio de Calor Latente para a Floresta Estacional e com Babaçu no NEB.....	64
4.3. Precipitação Convectiva Acumulada e Precipitação da Microfísica.....	66
4.4 Perfis de Temperatura Potencial.....	73
4.5 Perfis de Razão de Mistura.....	82
4.6. Radiação de Onda Longa e Onda Curta.....	91
5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES.....	96
5.1. Conclusões.....	96
5.2. Sugestões.....	98
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	99
APÊNDICES.....	106
Apêndice A1: Distribuição Espacial da Precipitação Média para o Mês de Março de 1983.....	107
Apêndice A2: Distribuição Espacial da Precipitação Média para o Mês de Março de 1986.....	108

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1 – Estrutura de grade tipo “C” de Arakawa. As variáveis termodinâmicas são definidas nos pontos de grade, e as componentes do vento ( $u$ , $v$ e $w$ ) são definidas em $\Delta x/2$ , $\Delta y/2$ e $\Delta z/2$ .....	35
Figura 2 – Topografia da Região Nordeste do Brasil.....	37
Figura 3 – Mapa dos principais tipos de vegetação no nordeste do Brasil. Escala 1:4.000.000. Fonte IBGE (1985). ....	38
Figura 4 – Principais tipos de vegetação do modelo RAMS para o nordeste do Brasil.....	39
Figura 5 – Ciclo médio do Fluxo de Calor Sensível (círculos vazios – simulação modificada e círculos preenchidos - simulação controle) para a região do NEB para o período de 01 a 06 de 1983.....	53
Figura 6 – Ciclo médio do Fluxo de Calor Sensível (círculos vazios – simulação modificada e círculos preenchidos - simulação controle) para a região do NEB para o período de 01 a 06 de Abril de 1986.....	53
Figura 7 – Ciclo médio espacial do Fluxo de Calor Sensível (círculos vazios – simulação modificada e círculos preenchidos - simulação controle) para a região de Caatinga no NEB no período de 01 a 06 de Abril de 1983.....	55
Figura 8 – Ciclo médio do Fluxo de Calor Sensível (círculos vazios – simulação modificada e círculos preenchidos - simulação controle) para a região de Caatinga no NEB no período de 01 a 06 de Abril de 1986.....	55

Figura 9 – Ciclo médio do Fluxo de Calor Sensível (círculos vazios – simulação modificada e círculos preenchidos - simulação controle) para a região de Floresta Estacional e Babaçu no NEB no período de 01 a 06 de Abril de 1983.....	57
Figura 10 – Ciclo médio do Fluxo de Calor Sensível (círculos vazios – simulação modificada e círculos preenchidos - simulação controle) para a região de Floresta Estacional e com Babaçu no NEB no período de 01 a 06 de Abril de 1986.....	57
Figura 11 – Ciclo médio do Fluxo de Calor Latente (círculos vazios – simulação modificada e círculos preenchidos - simulação controle) para a região do NEB no período de 01 a 06 de Abril de 1983.....	59
Figura 12 – Ciclo médio do Fluxo de Calor Latente (círculos vazios – simulação modificada e círculos preenchidos - simulação controle) para a região do NEB no período de 01 a 06 de Abril de 1986.....	60
Figura 13 - Perfil médio da Umidade do Solo para a região de Caatinga no NEB no período de 01 a 06 de Abril de 1983.....	62
Figura 14 – Ciclo médio do Fluxo de Calor Latente (círculos vazios – simulação modificada e círculos preenchidos - simulação controle) para a região de Caatinga no NEB no período de 01 a 06 de Abril de 1983.....	63
Figura 15 – Ciclo médio do Fluxo de Calor Latente (círculos vazios – simulação modificada e círculos preenchidos - simulação controle) para a região de Caatinga no NEB no período de 01 a 06 de Abril de 1986.....	63
Figura 16 – Ciclo médio do Fluxo de Calor Latente (círculos vazios – simulação modificada e círculos preenchidos - simulação controle) para a região de Floresta Estacional Perenifólia e com babaçu no NEB para o período de 01 a 06 de Abril de 1983.....	65



Figura 17 – Ciclo médio do Fluxo de Calor Latente (círculos vazios – simulação modificada e círculos preenchidos - simulação controle) para a região de Floresta Estacional Perenifólia e F.E.P c/ babaçu no NEB para o período de 01 a 06 de Abril de 1986.....	65
Figura 18 – Evolução Temporal da Precipitação Acumulada (círculos vazios – simulação modificada e círculos preenchidos - simulação controle) e Precipitação da Microfísica (quadrados vazios – simulação modificada e quadrados preenchidos - simulação controle) para a região do NEB para o período de 01 a 06 de Abril de 1983.....	67
Figura 19 – Evolução temporal da distribuição espacial da Precipitação Acumulada (círculos vazios – simulação modificada e círculos preenchidos - simulação controle) e Precipitação da Microfísica (quadrados vazios – simulação modificada e quadrados preenchidos - simulação controle) para a região do NEB para o período de 01 a 06 de Abril de 1986.....	68
Figura 20 – Evolução temporal da Precipitação Acumulada (círculos vazios – simulação modificada e círculos preenchidos - simulação controle) e Precipitação da Microfísica (quadrados vazios – simulação modificada e quadrados preenchidos - simulação controle) para a região de Floresta Estacional Perenifólia e com babaçu para o período de 01 a 06 de Abril de 1986.....	69
Figura 21 – Distribuição espacial da Precipitação Total Acumulada para Região do NEB para 1983.....	70
Figura 22 – Distribuição espacial da diferença entre a simulação modificada e a controle da Precipitação Total Acumulada para Região do NEB para 1983.....	71
Figura 23 – Distribuição espacial da Precipitação Total Acumulada para Região do NEB para 1986.....	72

Figura 24 – Distribuição espacial da diferença entre a simulação modificada e a controle da Precipitação Total Acumulada para Região do NEB para 1986.....	73
Figura 25 – Perfil da Temperatura Potencial na Camada para a Região do NEB para 1983 (Simulação Modificada).....	75
Figura 26 – Diferença entre a simulação modificada e a controle dos Perfis da Temperatura Potencial na Camada para a Região do NEB em 1983....	75
Figura 27 - Taxa de aquecimento devida à convecção rasa.....	76
Figura 28 - Diferença da taxa de aquecimento entre a simulação modificada e a controle.....	77
Figura 29 – Perfil da Temperatura Potencial na Camada para a Região do NEB para 1986 (Simulação Modificada).....	77
Figura 30 – Diferença entre a simulação modificada e a controle dos Perfis da Temperatura Potencial na Camada para a Região do NEB para 1986...	75
Figura 31 – Perfil da Temperatura Potencial na Camada para a Região de Caatinga no NEB para 1983 (Simulação Modificada).....	78
Figura 32 – Diferença entre a simulação modificada e a controle dos Perfis da Temperatura Potencial na Camada para a Região de Caatinga no NEB para 1983.....	78
Figura 33 – Diferença entre a simulação modificada e a controle dos Perfis da Temperatura Potencial na Camada para a Região de Caatinga no NEB para 1986.....	79
Figura 34 – Perfil da Temperatura Potencial na Camada para a Região de Floresta no NEB para 1983 (Simulação Modificada).....	80
Figura 35 – Diferença entre a simulação modificada e a controle dos Perfis da Temperatura Potencial para a Região de Floresta no NEB para 1983...	81

Figura 36 – Perfil da Temperatura Potencial na Camada para a Região de Floresta no NEB para 1986 (Simulação Modificada).....	81
Figura 37 – Diferença entre a simulação modificada e a controle dos Perfis da Temperatura Potencial na Camada para a Região de Floresta no NEB para 1986.....	82
Figura 38 – Perfil da Razão de Mistura com a altura para o NEB para 1983.....	84
Figura 39 – Diferença entre a simulação modificada e a controle dos Perfis de Razão de Mistura na Camada para a Região do NEB para 1983.....	84
Figura 40 - Taxa de umedecimento devida à convecção rasa.....	85
Figura 41 – Diferença da taxa de umedecimento devida a convecção rasa entre a simulação modificada e a controle.....	85
Figura 42 – Perfil da Razão de Mistura com a altura para o NEB para 1986.....	86
Figura 43 – Diferença entre a simulação modificada e a controle dos Perfis de Razão de Mistura na Camada para a Região do NEB para 1986.....	86
Figura 44 – Perfil da Razão de Mistura com a altura para a Região de Caatinga no NEB para 1983 (Simulação Modificada).....	87
Figura 45 – Diferença entre a simulação modificada e a controle dos Perfis de Razão de Mistura na Camada para a Região de Caatinga no NEB para 1983.....	87
Figura 46 – Perfil da Razão de Mistura com a altura para a Região de Caatinga no NEB para 1986 (Simulação Modificada).....	88
Figura 47 – Diferença entre a simulação modificada e a controle dos Perfis de Razão de Mistura na Camada para a Caatinga no NEB para 1986.....	88
Figura 48 – Perfil da Razão de Mistura com altura para Floresta no NEB em 1983..	89

Figura 49 – Diferença entre a simulação modificada e a controle dos Perfis de Razão de Mistura na Camada para a Floresta no NEB para 1983.....	90
Figura 50 – Perfil da Razão de Mistura com a altura para a Região de Floresta no NEB para 1986 (Simulação Modificada).....	90
Figura 51 – Ciclo Médio da Radiação de Onda Curta (círculos vazios – simulação modificada e círculos preenchidos - simulação controle) para a Região do NEB em 1983.....	92
Figura 52 – Ciclo Médio da Radiação de Onda Curta (círculos vazios – simulação modificada e círculos preenchidos - simulação controle) para a Região do NEB em 1986.....	92
Figura 53 – Ciclo Médio da Radiação de Onda Longa Emergente da Superfície da Terra (círculos vazios – simulação modificada e círculos preenchidos - simulação controle) para a Região do NEB em 1983.....	93
Figura 54 – Ciclo Médio da Radiação de Onda Longa Emergente da Superfície da Terra (círculos vazios – simulação modificada e círculos preenchidos - simulação controle) para a Região do NEB em 1986.....	93

## LISTA DE TABELAS

	<b>Pág.</b>
Tabela 1 - Canais espectrais e aplicações do AVHRR/NOAA.....	31
Tabela 2 - Classificação dos três tipos de vegetação utilizados na estimação do IAF por Ha <i>et al.</i> (2001).....	48
Tabela 3 - Propriedades físicas utilizadas pelo modelo de vegetação do RAMS para a simulação 1 (1983).....	50
Tabela 4 - Propriedades físicas utilizadas pelo modelo de vegetação do RAMS para a simulação 2 (1986).....	50

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AVHRR – Advanced Very High Resolution Radiometer

$\beta$  – Razão de Bowen

BOREAS - Boreal Ecosystem Atmosphere Study

DN – Digital Number

ECMWF - European Centre for Medium-Range Weather Forecast

ENOS – El Niño Oscilação Sul

FAPAR - Fração da Radiação Fotossinteticamente Ativa

FIFE - International Satellite Land Surface Project Field Experiments

GAC – Global Area Coverage

GIMMS - Global Inventory Monitoring and Modeling Studies

GOES - Geostationary Operational Environmental Satellite

GSFC - Goddard Space Flight Center

IAF<sub>EST</sub> – Índice de Área Foliar Estimado

IAF<sub>RAMS</sub> – Índice de Área Foliar Original do Modelo RAMS

IVDN – Índice de Vegetação por Diferença Normalizada

NASA - National Aeronautics and Space Administration

NEB – Nordeste do Brasil

PPL – Produtividade Primária Líquida

NOAA – National Oceanic and Atmosphere Administration

RAMS - Regional Atmospheric Modeling System

$\theta$  – Temperatura Potencial (K)

T<sub>s</sub> – Temperatura de Superfície

TSM – Temperatura da Superfície do Mar

VCAS – Vórtice Ciclônico de Ar Superior

Vfrac<sub>EST</sub> – Fração de Vegetação Estimada

Vfrac<sub>RAMS</sub> – Fração de Vegetação Original do Modelo RAMS

ZCAS - Zona de Convergência do Atlântico Sul

ZCIT – Zona de Convergência Intertropical

**LISTA DE APÊNDICES**

	<b>Pág.</b>
Apêndice A1 – Distribuição Espacial da Precipitação Média para o Mês de Março de 1983.....	108
Apêndice A2 – Distribuição Espacial da Precipitação Média para o Mês de Março de 1986.....	109



## **1 INTRODUÇÃO**

A maior parte da região Nordeste do Brasil é caracterizada como semi-árida, com grande variabilidade espacial e temporal da precipitação, contrastando com sua relativa homogeneidade térmica. As variações espaciais e sazonais da precipitação são influenciadas por diversos fenômenos atmosféricos. Dentre eles destacam-se: a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) formada pela interação da zona de confluência dos ventos alísios (região do cavado equatorial), áreas de máxima temperatura da superfície do mar e de máxima convergência de massa. Seu posicionamento é de fundamental importância para qualidade da quadra chuvosa do setor norte do Nordeste do Brasil de fevereiro a maio (UVO, 1989); os Distúrbios Ondulatórios de Leste, que são aglomerados de nuvens com deslocamento de leste para o oeste, que se propagam sobre o Atlântico desde a África até à costa leste do NEB, provocando chuvas na região costeira e parte do agreste, principalmente no inverno do Hemisfério Sul (Yamazaki e Rao, 1977); os Sistemas Frontais, oriundos das latitudes médias do Hemisfério Sul influenciam a precipitação, principalmente no sul-sudeste e oeste da região Nordeste durante quase todo o ano, com maior intensidade no verão (de novembro a fevereiro) ( Kousky, 1979); os Vórtices Ciclônicos do Ar Superior (VCAS) se formam na parte subtropical dos oceanos Atlântico Sul e Pacífico Sul. Ocorrem principalmente no verão, favorecidos pela

configuração do escoamento médio na alta troposfera, podendo ser intensificado e originado pela proximidade de um sistema frontal (Kousky e Gan, 1981).

A vegetação da Região Nordeste do Brasil é caracterizada por diversos padrões morfológicos que dependem da localização geográfica e das condições climáticas. A porção semi-árida se destaca pela presença de caatinga arbustiva, densa ou aberta, que perde sua folhagem no período de estiagem, tornando a florescer no período chuvoso. Além dessa vegetação, destacam-se ainda a Mata Atlântica, a vegetação de praias, dunas e restingas, os cerrados, as matas ribeirinhas, vegetação de mangues, vegetação rupreste, dentre outras (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, 1985).

A partir da década de 80 foram desenvolvidos e instalados sensores de alta resolução Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR), a bordo de satélites meteorológicos da série National Oceanic and Atmosphere Administration (NOAA) capazes de fazer o monitoramento espectral da vegetação de uma determinada área geográfica. A resposta espectral detectada pelos sensores na banda visível (VIS) e infravermelho próximo (IV) dos satélites NOAA informam sobre a refletância da superfície de vegetação, possibilitando desta forma identificar e mapear áreas de cobertura vegetada. A combinação das duas refletâncias nos dois canais é denominada de Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (IVDN) (Parkinson, 1997).

Pesquisadores em todo o mundo têm utilizado séries multitemporais de dados do IVDN obtidos dos sensores de alta resolução do AVHRR/NOAA, para identificação e classificação da vegetação, tanto a nível regional como global. Dentre os inúmeros trabalhos feitos destacam-se: Nicholson e Farrar (1994) estudando os dados do

índice de vegetação para regiões semi-áridas da África, encontraram uma relação entre a variabilidade espacial e temporal do índice de vegetação, precipitação e umidade do solo; Huete *et al.* (1997) observaram como diferentes índices de vegetação respondiam às variações dos diferentes tipos de vegetação do globo. Eles verificaram que as variações mais significativas dos índices encontram-se sobre o deserto e a pastagem; Almeida (1997) para o cerrado brasileiro e Braga (2000) para o Nordeste do Brasil, verificaram que a resposta do IVDN às precipitações possui uma defasagem temporal, de aproximadamente um mês, entre o instante da chuva e o tempo necessário à absorção da água disponível pela vegetação, aumentando a atividade fotossintética elevando os valores do IVDN. Barbosa (1998) verificou que o IVDN pode ser utilizado como indicador do regime pluviométrico em períodos extremos de seca e chuva no Nordeste Brasileiro, devido às distribuições espaciais e temporais do índice e a pluviosidade mensal possuírem padrões semelhantes e serem estatisticamente correlacionados.

A modelagem numérica é uma ferramenta de fundamental importância para uma melhor compreensão da dinâmica da atmosfera, assim como para previsão de tempo. Um dos principais determinantes da qualidade de uma simulação numérica é a forma de como se dá a partição dos fluxos em superfície. Uma definição equivocada da Razão de Bowen pode alterar em muito o resultado de uma simulação. Atualmente as simulações realizadas com o Regional Atmospheric Modeling System - RAMS versão 4.3b, prescrevem um único mapa de vegetação com parâmetros (Índice de Área Foliar - IAF, Fração Vegetada - Vfrac, albedo, rugosidade, profundidade de raízes, dentre outros) fixos para cada tipo de cobertura vegetal de uma determinada região. Nesse sentido, uma atribuição realística da distribuição da vegetação na superfície do modelo deve levar a uma melhoria das simulações.

Estudos recentes mostram que a introdução de parâmetros da vegetação, derivados do IVDN nos modelos de previsão de tempo e clima pode resultar em mudanças significativas dos fluxos de superfície obtido pelas simulações. Por exemplo: Myneni *et al.* (1997) estimaram o índice de área foliar (IAF) e a fração de radiação fotossinteticamente ativa (FAPAR) a partir de dados do IVDN, para deduzir as relações entre o IVDN/IAF e IVDN/FAPAR. Os autores verificaram que a relação entre o IVDN e a FAPAR é, na maioria dos casos linear, já a relação entre o IVDN e o IAF é não linear e varia com os diferentes tipos de vegetação; Gutman e Ignatov (1998) parametrizaram a fração vegetada, através da área fracional da vegetação ocupada por cada célula de grade e do IAF, a partir de dados do IVDN. Os resultados da introdução dos mapas no modelo de previsão numérica de tempo mostraram uma melhora na previsão dos fluxos à superfície.

Portanto, com os dados do IVDN é possível estimar a fração da vegetação, o índice de área foliar e identificar as principais características dos diferentes tipos de vegetação. Para isto fez-se uma classificação de cobertura vegetal da região Nordeste do Brasil compatível com o algoritmo do modelo utilizado. Os dados do IAF e da  $V_{frac}$  foram incorporados no modelo RAMS (Regional Atmospheric Modeling System).

Neste contexto, o objetivo deste estudo foi utilizar os dados do IVDN, obtidos das imagens de satélites do AVHRR/NOAA, para os cinco primeiros dias dos meses de abril dos anos 1983 e 1986 na região Nordeste do Brasil, para estimar o IAF e a fração da cobertura vegetada. Os valores estimados foram introduzidos nas simulações do modelo regional de previsão de tempo e clima RAMS. Os resultados obtidos em cada integração são analisados e discutidos, a fim de melhorar a qualidade das simulações numéricas para a região.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Recentemente, inúmeros trabalhos envolvendo índices espectrais, obtidos através de satélites meteorológicos, têm sido desenvolvidos.

Basicamente, os índices de vegetação têm sido utilizados com as seguintes finalidades:

- a) no estudo de algumas propriedades de caráter biológico da vegetação, tais como: índice de área foliar, estimativa de biomassa, fração vegetada e atividade fotossinteticamente ativa;
- b) utilizados para acompanhar e estudar o desenvolvimento fenológico da vegetação e;
- c) são também empregados em modelos de previsão numérica de tempo e clima com objetivo de melhorar a previsão dos fluxos de superfícies.

Rabin *et al.* (1990) combinaram imagens de satélite, nos canais infravermelho e visível, com informações detalhadas da superfície e observaram o efeito da variação espacial sobre a formação de cumulus. Comparando o IVDN com resultados de modelos de transpiração e fotossíntese, verificaram que existe uma correlação direta entre o IVDN e a troca de vapor d'água no dossel da vegetação, exceto em lugares com

escassez de água, onde o índice é insensível a evapotranspiração. Os autores também observaram que as nuvens se formam mais cedo sobre regiões com alto fluxo de calor sensível e são suprimidas sobre regiões com alto fluxo de calor latente, estas observações sustentam a hipótese de que as nuvens se formam primeiro sobre área com alta razão de Bowen ( $\beta$ ) em condições atmosféricas relativamente secas. Os resultados das integrações sugerem que a introdução de informações de superfície no modelo de previsão torna-o capaz de prognosticar certos detalhes na temperatura e no padrão de nuvens.

Batista *et al.* (1993) utilizaram dados de IVDN de vários tipos de vegetação, de porte florestal, que ocorrem na Amazônia Legal Brasileira, para verificar a separabilidade entre os diversos tipos de vegetação e a variação do índice de vegetação ao longo de 10 anos. De posse de dados mensais do IVDN e de composições anuais, os autores analisaram a variação climática anual e interanual na região amazônica. Batista *et al.* (1993) verificaram que a fenologia das coberturas de floresta não varia muito durante o ano, entretanto para anos de El Niño há uma redução do valor do índice de vegetação durante a estação seca, indicando, assim, que as mudanças fenológicas na vegetação podem ser observadas a partir do IVDN.

Liu *et al.* (1994) estudaram a evolução das secas no sul do Continente Americano a partir de dados do IVDN derivados de satélite. Produziram mapas do IVDN com dados do tipo Global Area Coverage (GAC) obtidos do AVHRR da NOAA, no período de agosto de 1981 a junho de 1987, para estudar a resposta da vegetação às secas a partir da análise da evolução temporal e espacial de dados mensais de áreas secas, (delimitadas por valores do IVDN menores que 0.22) e da correlação do padrão da seca com o El Niño Oscilação Sul (ENSO). Eles observaram que a indicação de áreas secas, a

partir de dados de satélite, na Bacia Amazônica, coincide com eventos de ENSO. Os resultados mostraram que o IVDN responde indiretamente a precipitação sobre os continentes.

Betts *et al.* (1996), utilizando observações de dois experimentos de campo Norte Americano, o FIFE (International Satellite Land Surface Project Field Experiments) e o BOREAS (Boreal Ecosystem Atmosphere Study), aplicaram os dados da pesquisa para aperfeiçoar as parametrizações da superfície e da camada limite, no modelo de previsão global do ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecast). Os resultados, do novo modelo (com quatro camadas de solo), ilustram a interação entre a umidade do solo, evaporação e a precipitação para diversas escalas de tempo e espaço. Analisando um conjunto de trinta interações, eles verificaram grande sensibilidade do padrão de precipitação mensal para diferentes condições iniciais de umidade do solo. Com o novo esquema de superfície e camada limite foram obtidos melhores resultados na previsão de precipitação, devido à estrutura termodinâmica ser mais realística.

Rabin e Martin (1996) desenvolveram um algoritmo para identificar nuvens cumulus a partir de imagens do satélite GOES-7 (Geostationary Operational Environmental Satellite) no visível e infravermelho. Analisaram diariamente nuvens cumulus rasos, nos Estados Unidos Central, em relação às características da superfície para dois meses de verões consecutivos, um seco e outro não, julho de 1987 e julho de 1988 e compararam o desenvolvimento dos cumulus rasos com a cobertura vegetal, a altitude e a umidade do solo em mesoescala. Rabin e Martin (1996) descreveram uma técnica de mapeamento diário de nuvens sobre grandes áreas e longos períodos. Para pequena e grande escala os campos de cumulus foram comparados com parâmetros representativos

do estado da superfície. Os autores sugerem que no tempo o solo e a cobertura da vegetação podem ser mais importantes que a topografia controlando o desenvolvimento de cumulus, pois o efeito da superfície depende do estado inicial da atmosfera sobre ela.

Myneni *et al.* (1997) desenvolveram um método para estimar Índice de Área Foliar (IAF) e Fração de Radiação Fotossinteticamente Ativa (FAPAR) a partir do IVDN. O método foi utilizado para deduzir as relações entre o IVDN/IAF e o IVDN/FAPAR. Os autores fizeram a estratificação da vegetação global dos tipos de cobertura compatíveis com o modelo de transferência radiativa. Assim Myneni *et al.* (1997) desenvolveram uma classificação de cobertura vegetal que fosse compatível com o algoritmo IAF/FAPAR. Ao comparar os dados do método proposto com os resultados do modelo semi-analítico obtiveram boa precisão. A partir desse estudo, verificaram que a relação entre o IVDN-FAPAR é linear na maioria dos casos. Já a relação entre IVDN-IAF é não linear e mostra consideráveis variações entre os diversos tipos de cobertura vegetal.

Gutman e Ignatov (1998) observaram que os modelos de previsão numérica e circulação geral requerem duas características principais da cobertura vegetal: o tipo e a quantidade de vegetação. A primeira obtém-se a partir de mapas de vegetação global disponíveis, baseados em observações de superfície. Entretanto, a quantidade de vegetação deve ser parametrizada através da área fracional de cobertura vegetada ocupada por cada célula de grade do modelo (densidade horizontal) e do IAF que é o número de camadas de folhas da parte vegetada (densidade vertical). Sendo assim, exploraram o potencial destas duas variáveis a partir de dados do IVDN do AVHRR do NOAA. Devido ao índice de vegetação não permitir a dedução simultânea de ambas variáveis, Gutman e Ignatov (1998) assumiram a cobertura vegetal como densa (IAF muito alto) para estimar a fração



vegetada. Os resultados preliminares da incorporação dos mapas de fração vegetada no modelo de previsão numérica de tempo mostraram uma melhoria da previsão dos fluxos de superfície, mostrando assim, um modelo mais realístico e consistente, quando comparado com o anterior que utiliza a fração vegetada invariante.

Morrow e Friedl (1998) observaram a influência da umidade do solo e densidade de vegetação na refletância e temperatura da superfície da terra em pastos no Nordeste de Kansas - EUA. Para isso desenvolveram um modelo de previsão, no qual a variação da intensidade de vegetação é introduzida no modelo através do IAF do dossel e utilizaram medições a partir de um sensor multi-espectral montado num helicóptero para validar as simulações do modelo. A formulação utilizada por Morrow e Friedl (1998) para estimar o IAF tende a subestimar o índice para valores baixos e superestimar para altos. Os resultados mostraram que a parametrização da refletância do solo como função da umidade do solo pode ter afetado as previsões do IAF partir das medições do IVDN. As simulações do modelo implicam que um aumento na umidade do solo tende a superestimar as previsões do IAF por reduzir o valor da refletância espectral do visível prevista e vice-versa. Morrow e Friedl (1998) verificaram também a existência de uma boa correlação entre os valores da refletância espectral da superfície observada e modelada e a comparação de dados de temperatura observados e modelados a partir de um conjunto de variáveis confiáveis (radiação líquida, temperatura do ar, IAF, dentre outras) mostra que a temperatura da superfície do solo pode ser modelada com boa precisão.

Ha *et al.* (2001) analisaram a variabilidade temporal do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (IVDN), do IAF e da Temperatura da Superfície (Ts), estimados a partir de dados do AVHRR/NOAA na Coreia, no período de 1981 a 1994. Os

autores formularam o IAF como uma função do IVDN para três tipos de vegetação: Folha Larga (para Decíduas, sempre verdes com folhas largas e floresta mista), Folha Pontaguda e Pastagem. Ha *et al.* (2001) observaram que a variabilidade intraanual do IAF depende fortemente do tipo de vegetação. A variabilidade interanual é maior em regiões mais elevadas e em áreas urbanas. Os autores também verificaram que as mudanças no IAF não estão relacionadas diretamente com as variações do IVDN e sugeriram que a distribuição espacial do IAF na Península Coreana pode ser utilizada para simular os fluxos de superfície sobre regiões heterogêneas.

Matsushita e Tamura (2002) descreveram um método de integração de dados de sensoriamento remoto juntamente com um modelo de ecossistema para estimar a produtividade primária líquida (PPL) no Leste da Ásia para o ano de 1998. Com o intuito de melhorar o desempenho do modelo Simulador do Ecossistema Boreal (BEPS) para estimar a PPL, os autores incorporaram um novo mapa de cobertura e melhoraram o algoritmo do IVDN/IAF. As informações de cobertura do solo e distribuição espacial e sazonal do IAF foram obtidas a partir de dados de satélite e utilizadas como dados de entrada para melhorar a precisão do modelo. Matsushita e Tamura (2002) observaram que existe uma correlação exponencial entre o IVDN e o IAF. Comparando a PPL estimada pelo modelo com a observada concluíram que a PPL estimada se aproxima muito da observada, apresentando um erro médio de aproximadamente 20%.

### **3 MATERIAL E METODOLOGIA**

#### **3.1 Material**

##### **3.1.1 Sistema de Sensores do AVHRR/NOAA**

Os satélites da série NOAA possuem órbita polar heliossíncrona a uma altitude de 833 Km. Seu sistema imageador, Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR/NOAA), consiste de um radiômetro com cinco canais sensíveis às bandas espectrais visível, infravermelho próximo e termal do espectro eletromagnético (Tabela 1). Inicialmente, o objetivo destes sensores era fornecer a temperatura das nuvens, do oceano e da atmosfera. Em junho de 1981, foram introduzidas novas bandas nos sensores de alta resolução espectral AVHRR/NOAA-7 com possibilidades de monitorar a vegetação na banda do espectro do vermelho e infravermelho próximo (Batista *et al.* 1993).

Tabela 1 – Canais espectrais e aplicações do AVHRR/NOAA.

CANAL	NOAA 7, 9, 11, 12, 14 ( $\mu\text{m}$ )	APLICAÇÕES
1	0,58 – 0,68	Mapeamento diurno de nuvens, gelo e neve.
2	0,725 – 1,10	Mapeamento de massas d'água, monitoramento da vegetação (combinado com o canal 1)
3	3,55 – 3,93	Mapeamento noturno de nuvens, TSM; detecção de queimadas e atividades vulcânicas.
4	10,30 – 11,30	Mapeamento diurno e noturno de nuvens, TSM, umidade do solo, atividades vulcânicas.
5	11,50 – 12,50	Mapeamento diurno e noturno de nuvens, TSM e umidade do solo.

FONTE: Adaptada de Barbosa (1998, p. 39)

Neste estudo foram utilizados dados do canal 1 e 2 correspondentes às bandas espectrais no visível e infravermelho próximo, do sensor AVHRR/NOAA. A combinação desses dois canais permite inferir sobre a fitomassa foliar fotossinteticamente ativa na comunidade florestal e é conhecida como Índice de Vegetação, grandeza que caracteriza o vigor da vegetação.

O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (IVDN) é dado pela seguinte relação:

$$IVDN = \frac{I - R}{I + R} \quad (1)$$

Em que: I é a refletância na banda espectral do infravermelho próximo do AVHRR/NOAA (0,725-1,10 $\mu$ m) e R é a refletância na banda espectral do visível (0,58-0,68 $\mu$ m), incluindo o laranja no comprimento de onda deste último.

Os valores mais altos do IVDN estão associados à cobertura de vegetação densa e são comumente encontrados para florestas úmidas tropicais da ordem de 0,60, para desertos 0,05 e -0,30 para nuvens que não precipitam. Esses valores não são médias quinzenais e sim, valores máximos quinzenais atribuídos para cada lugar, para reduzir efeitos atmosféricos, devido a fatores complicadores, tais como: nuvens, vapor d'água e aerossóis, que provocam erros nos valores do índice (Parkinson, 1997; Gutman, 1991).

A vantagem dos satélites da série NOAA em relação a outros satélites, por exemplo, LANDSAT, é a sua grande resolução temporal, obtendo dados diariamente, que cobrem todo o globo. Essa cobertura diária global possibilita superar melhor a restrição do uso de imagens devido à contaminação por nuvens. A observação diária dos alvos a partir do sistema AVHRR/NOAA permite explorar o monitoramento da evolução da cobertura vegetal numa escala regional e/ou global.

### 3.1.2 O Modelo “Regional Atmospheric Modeling System – RAMS”

O Regional Atmospheric Modeling System (RAMS) desenvolvido na Universidade do Estado do Colorado (EUA) e pela divisão ASTER-Mission Research Corporation é uma união de diversos códigos de simulação numérica de tempo (Pielke *et al.*, 1992). O RAMS constitui-se de um código numérico altamente versátil, usado para simular e prognosticar fenômenos meteorológicos (Preste, 2001). Seus principais componentes são: (1) um modelo atmosférico que realiza simulações; (2) um pacote de análise de dados que prepara os dados iniciais para o modelo atmosférico a partir de dados meteorológicos observados; (3) um pacote de pós-processamento através de uma interface com um software gráfico de visualização (Pielke, 1974; Tripoli e Cotton, 1982; Tremback *et al.*, 1985). Praticamente toda a codificação é feita em linguagem FORTRAN 90, apenas algumas rotinas, para facilitar entrada e saída de dados e alocação de memória, são escritas em linguagem C (Cavalcanti, 2001).

O RAMS foi construído com base nas equações da dinâmica da atmosfera, complementadas com parametrizações de difusão turbulenta, radiação solar e terrestre, processos úmidos incluindo a formação e a interação de nuvens e água líquida precipitante e gelo, calor sensível e latente, camadas de solo, vegetação e superfície d'água, efeitos cinemáticos do terreno e convecção cumulus. Uma das vantagens de se utilizar o RAMS é que todas estas parametrizações e características do modelo podem ser alteradas de maneira a melhor se adequarem às condições específicas de determinado local, ou a condições idealizadas para simulações de situações meteorológicas diversas.

Os dados de entrada do RAMS são: a temperatura do ar, o geopotencial, a umidade do ar (através da temperatura do ponto de orvalho, da razão de mistura, da umidade relativa do ar ou da diferença psicrométrica) e o vento (através das componentes  $u$  e  $v$  ou da direção e intensidade) nos diversos níveis da atmosfera.

O RAMS utiliza uma grade do tipo “C” de Arakawa, onde as variáveis termodinâmicas, inclusive a umidade, são definidas em pontos de grade e as componentes  $u$ ,  $v$  e  $w$  são definidas em  $\Delta x/2$ ,  $\Delta y/2$  e  $\Delta z/2$  respectivamente (Figura 1). A projeção horizontal utilizada para definição das coordenadas da grade é a estereográfica, projeção que diminui distorções da projeção da área de interesse. E as coordenadas cartesianas também podem ser utilizadas pelo RAMS (Cavalcanti, 2001).

No RAMS cada célula de grade é logicamente dividida em três diferentes classes: água, solo sem cobertura vegetal (solo nu) e superfície vegetada. Para o solo nu o RAMS utiliza um modelo de múltiplas camadas (McCumber e Pielke, 1981), que envolve equações prognósticas para a temperatura e a umidade do solo. A temperatura do solo é obtida pela equação do balanço de energia à superfície (Cavalcanti, 2001). A evaporação depende da quantidade de água líquida sobre a folhagem devido a precipitação ou orvalho e a umidade do solo depende da precipitação que chega até o solo. Os efeitos da interceptação da precipitação pelo dossel também podem ser incluídos (Garratt, 1992).

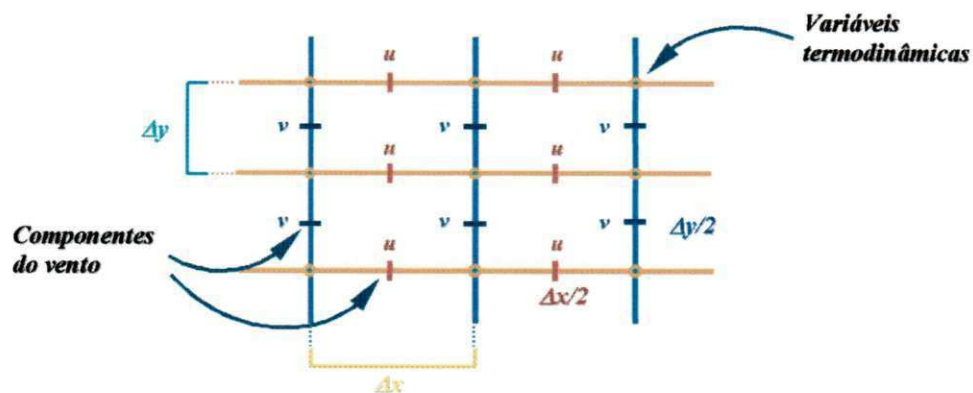


Figura 1 – Estrutura de grade tipo “C” de Arakawa. As variáveis termodinâmicas são definidas nos pontos de grade, e as componentes do vento ( $u$ ,  $v$  e  $w$ ) são definidas em  $\Delta x/2$ ,  $\Delta y/2$  e  $\Delta z/2$ .

### 3.1.2.1 Características do Modelo RAMS para as Simulações

A grade foi definida com resolução horizontal de 32 Km e centrada no ponto 8°S e 40° W, cobrindo toda região Nordeste. Na vertical foram adotados 32 níveis atmosféricos e sete níveis de solo (profundidades: 00; 06; 12; 24; 48; 72; e 100 cm). Nos limites laterais foi aplicado um nudging de 1800 segundos e no interior do domínio nenhum nudging foi aplicado de forma que a própria dinâmica do modelo determine a qualidade da simulação.



As parametrizações ativadas foram: radiação de onda longa e curta segundo Chen e Cotton (1983); convecção profunda do tipo Kuo (1974), de acordo com Molinari e Corsetti (1985); convecção rasa de acordo com Souza (1999). A difusão turbulenta segue Mellor e Yamada (1982) e a parametrização de microfísica, segue Walko *et al* (1995) e foi ativada no nível três, de modo a considerar a produção de precipitação a partir da evolução de um espectro de gotas, em nuvens com características estratiformes.

O tipo de solo considerado nas simulações foi o solo misto (franco argiloso arenoso), por melhor representar a região em estudo e a umidade do solo considerada foi de 50% para o primeiro (superfície) e segundo níveis e 60% para os demais. A topografia do modelo regional RAMS é mostrada na Figura 2.

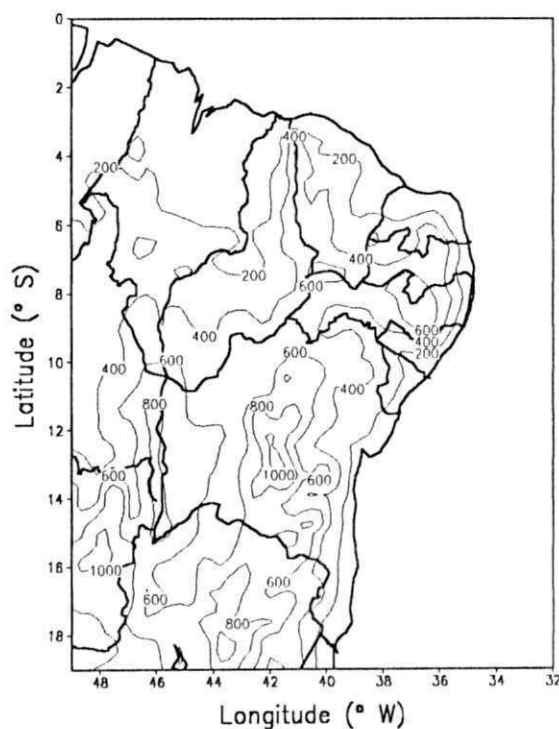


Figura 2 – Topografia da Região Nordeste do Brasil segundo o modelo RAMS

Na definição da vegetação utilizaram-se dados quinzenais do IVDN, correspondente ao período de estudo para estimar alguns parâmetros da vegetação: índice de área foliar (IAF) e a fração vegetada (Vfrac), com o propósito de melhor representar as características da vegetação dominante na área de estudo. Fez-se a comparação entre a vegetação nativa regional (Figura 3) e os tipos de cobertura compatíveis com o modelo (Figura 4). Consideraram-se, para realização desta pesquisa, quatro domínios conforme a ocupação do solo existente no arquivo de vegetação disponível no modelo, de forma a melhor representar a cobertura vegetal nativa da região Nordeste do Brasil: Floresta Estacional Perenifólia, Floresta Estacional Perenifólia com Babaçu, Floresta Estacional Semidecídua, Floresta Estacional Semidecídua com Babaçu, Hiléia Baiana, Mata Atlântica, Agreste num domínio com vegetação predominante do tipo Árvores Sempre verdes de folhas largas; Caatinga num domínio com vegetação predominante do tipo Arbustos Temporários; Caatinga e Mata do Cipó num domínio com vegetação predominante do tipo Culturas Mistas e; Mata Atlântica, Agreste, Cerrado e Elementos do Cerrado num domínio com vegetação predominante do tipo Floresta com Pastagem. O resultado desta classificação pode ser observado na Figura 3 para a vegetação nativa do NEB e na Figura 4 para o tipo de cobertura vegetal utilizada pelo RAMS.

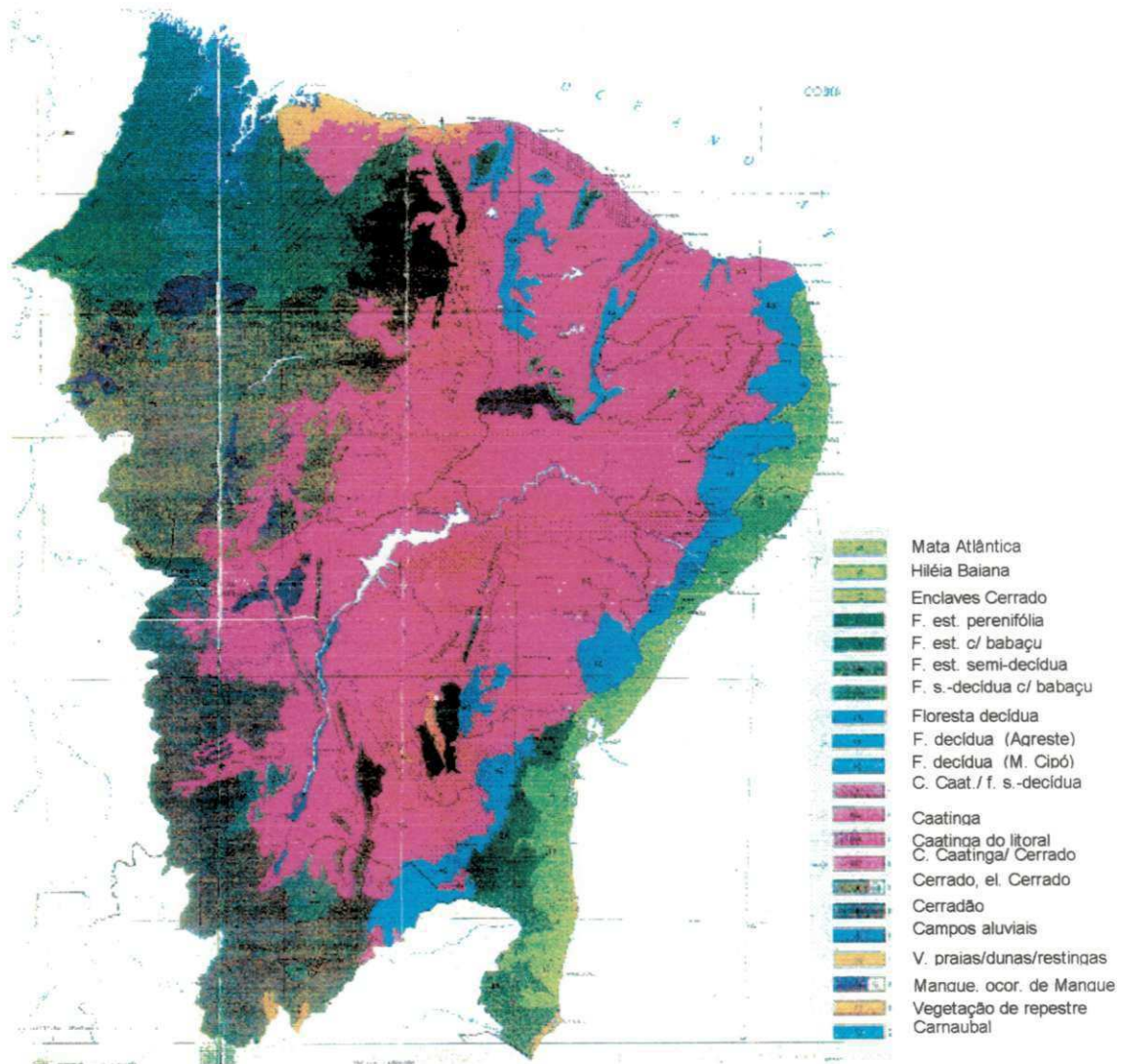


Figura 3 – Mapa dos principais tipos de vegetação no nordeste do Brasil. Escala 1:4.000.000. Fonte IBGE (1985).

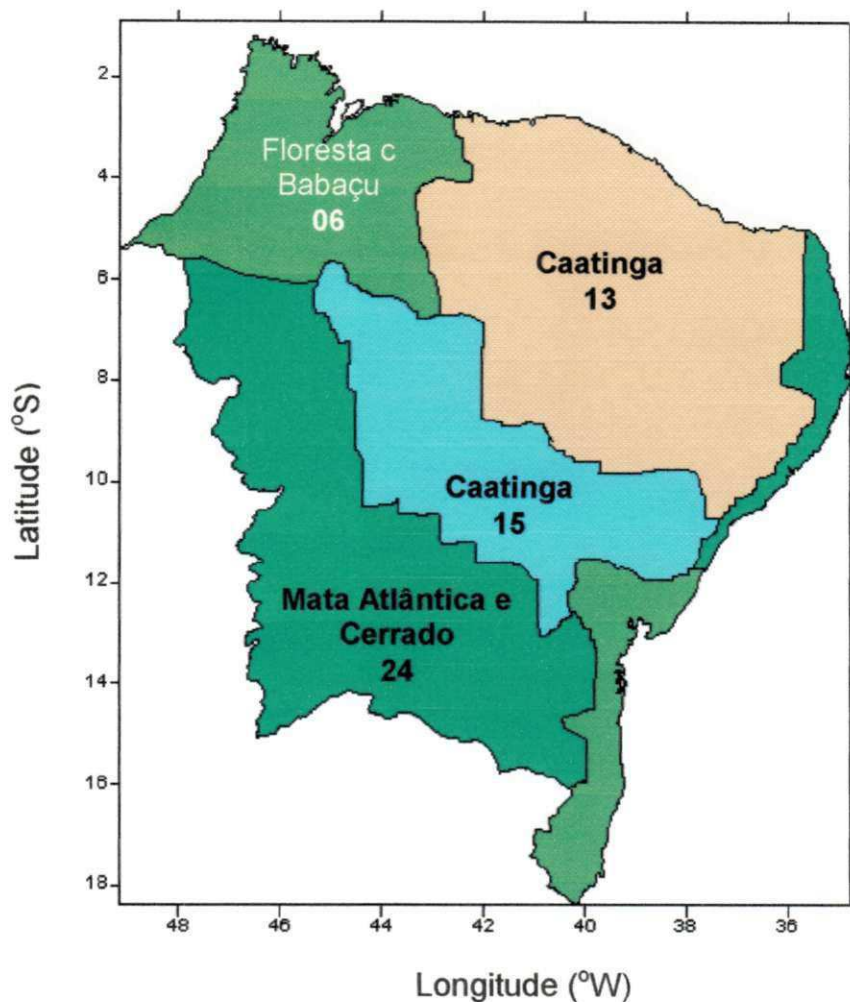


Figura 4 – Principais tipos de vegetação do modelo RAMS para o nordeste do Brasil.

### 3.1.3 Dados de Reanálises do NCAR/ NCEP

Durante a realização deste estudo utilizaram-se dados diários das reanálises do modelo global do National Center for Atmospheric Research/National Center for Environmental Prediction - NCAR/NCEP (Kalnay *et al.*, 1996) para alimentação do modelo regional, no período de 01 a 06 de Abril do ano de 1983 e 1986. Os dados

utilizados apresentam intervalos de análises de 12 h (00 e 12 UTC). Esse período foi escolhido por ser chuvoso em quase toda região do NEB e a vegetação se encontrar bem desenvolvida nessa época. A seleção dos anos de 1983 e 1986 teve como objetivo avaliar o comportamento da vegetação em situações extremas de alto teor de umidade atmosférica, característica de anos chuvosos e baixo teor de umidade atmosférica, referente a anos secos, respectivamente (Cavalcanti, 2001).

#### **3.1.4 Dados do IVDN derivados do AVHRR/NOAA**

Foram utilizados dados quinzenais do IVDN, para a Região Nordeste, correspondentes às primeiras quinzenas de abril dos anos de 1983 e 1986, processados pelo GIMMS (Global Inventory Monitoring and Modeling Studies) juntamente com a NASA/GSFC (National Aeronautics and Space Administration/Goddard Space Flight Center), organizados por continente e as informações referentes aos oceanos são omitidas. Esses dados são derivados dos canais 1 e 2, visível (0,58 – 0,68  $\mu\text{m}$ ) e infravermelho próximo (0,725 – 1,10 $\mu\text{m}$ ) respectivamente, do sensor AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) a bordo dos satélites da série NOAA e são convertidos em unidades de refletância usando a calibração pré-vôo fornecida pela NOAA. Os dados de entrada processados pelo GIMMS para o cálculo do índice são digitais do tipo GAC (Global Area Coverage) com resolução espacial de 5,5 x 5,5  $\text{Km}^2$ . As composições quinzenais são geradas selecionando o valor máximo do IVDN atribuído a cada ponto para minimizar a contaminação por nuvens.

### 3.1.5 Dados da Vegetação

O mapeamento da vegetação é realizado de acordo com a fisionomia vegetal e pode ser representado por diversos tipos de vegetação ou formações. A região Nordeste possui uma vegetação variada que se reflete em condições ambientais diferenciadas. De acordo com o mapa de vegetação do Atlas Nacional do Brasil-Região Nordeste na escala de 1:4.000.000 (IBGE, 1985), as formações vegetais características da região se apresentam em dezesseis tipos principais (Figura 3) descritos a seguir.

a) Floresta Pluvial Perenifólia (Mata Atlântica) – faz parte da Zona da Mata Costeira que se prolonga desde o Cabo de São Roque, no Rio Grande do Norte, até o sul da Bahia, com uma largura média de 200Km, atinge em alguns pontos de 300 a 350Km. As árvores mais altas possuem troncos com diâmetros de até 2m, podendo alcançar uma altura de 25 a 30m.

b) Floresta Pluvial Perenifólia (Hiléia Baiana) – suas características fisionômicas e estruturais não diferem muito da Mata Atlântica. Possuem árvores mais altas, com troncos mais grossos. É floresta densa, alta, freqüentemente com emergentes que atingem até 30m de altura.

c) Floresta Estacional Perenifólia – situada na extremidade ocidental da região Nordeste. Podem ser reconhecidos dois tipos principais de floresta estacional: a densa com dossel mais fechado e a aberta que corresponde à chamada Mata do Cipó. As árvores mais altas atingem de 30 a 40m de altura, com troncos retos e às vezes com grande diâmetro. Há áreas que conservam espécies primitivas como a seringueira, castanha-do-pará, açaí, babaçu, dentre outras.



d) Floresta Estacional Perenifólia com Babaçu – encontrada no extremo norte e centro do Maranhão, esta formação pouco difere da Floresta Estacional Perenifólia do ponto de vista florístico-estrutural, mas possui um maior número de indivíduos de babaçu que proporciona uma modificação na sua fisionomia.

e) Floresta Estacional Semidecídua – encontrada a noroeste e nordeste do Maranhão e sudeste da Bahia em áreas contínuas. Em pequenas manchas é encontrada no sul da Bahia, bem como em serras e chapadas. Do ponto de vista florístico pouco difere da Floresta Pluvial Perenifólia.

f) Floresta Estacional Semidecídua com Babaçu – pouco diferente da anterior, a presença de maior número de indivíduos de babaçu é marcante na paisagem conferindo-lhe fisionomia distinta. Nesta área são encontrados os mais densos babaçuais. Estão localizadas na região central norte do Maranhão.

g) Floresta Decídua (Agreste e Mata de Cipó) – constitui uma vegetação de transição entre a mata e a caatinga. Corresponde ao Agreste e à Mata Seca, que acompanha a Zona da Mata com largura variável, desde o norte do Rio Grande do Norte até o sul da Bahia. Agreste é um tipo fitofisionômico associado a um clima mais úmido do que o da caatinga, mas não suficiente para manter a floresta.

h) Caatinga – é o termo aplicado ao conjunto de tipos de vegetação que caracteriza o Nordeste semi-árido. Possui sua estrutura, altura e densidade muito variável. A caatinga nos vários aspectos que apresenta, é constituída essencialmente de árvores e arbustos espinhentos, que perdem suas folhas na estação seca, de plantas suculentas, espinhosas e de plantas herbáceas que se desenvolvem com vigor depois das chuvas. A caatinga apresenta as seguintes variações:

- Caatinga Seca e Agrupada – é característica das margens do São Francisco, ao sul de Pernambuco onde o relevo é pouco acidentado com altitude em torno de 300m;

- Caatinga Seca e Esparsa – ainda as margens do São Francisco com arbustos e algumas árvores com altura média de 2m isoladas e bem distanciadas umas das outras. Outro tipo de caatinga é encontrado entre a Paraíba e o Rio Grande do Norte que é o Seridó, a única diferença é existência de uma cobertura exclusiva de capim panasco (*Aristida sp.*);

- Caatinga Arbustiva Densa – recobre a maior parte do semi-árido. Este tipo parece corresponder a caatinga das subzonas do Agreste e Sertão Central;

- Caatinga das Serras – neste tipo aparecem maior número de árvores e maior densidade de cobertura herbácea, de forma que o solo é quase todo recoberto pelo manto vegetal. Esta formação perde as folhas no período crítico de seca;

- Caatinga do Moxotó – vegetação baixa, arbustiva devido ao solo arenoso muito profundo. Possui estrato mais ou menos esparso constituído exclusivamente de facheiro (*Cereus squamosus*) que atinge até 5m de altura;

- Caatinga do Litoral – encontrada no Ceará próxima ao litoral onde se confunde com a vegetação de praias, dunas e restingas. Mostra predominância de espécies arbustivas da caatinga.

i) Cerrado – são formações herbáceo-lenhosas, com predominância de herbáceo graminóides, no meio das quais se intercalam árvores de pequeno porte, troncos e galhos retorcidos e revestidos de casca espessa, as folhas são amplas e, por vezes, revestidas de pêlos. As raízes das árvores e arbustos são muito profundas, permitindo que a maioria das espécies possa manter as folhas no período mais seco. Ocupa grandes áreas contínuas do



nordeste, sul e leste do Maranhão, sudoeste do Piauí e oeste da Bahia. E os elementos de cerrado em forma de enclaves são encontrados ainda na Bahia, Alagoas e Paraíba.

j) Cerradão – é considerado o tipo mais evoluído do cerrado, pois o cerradão é mais alto e mais denso que o cerrado, porém mais baixo e menos denso que a floresta. O tamanho médio das árvores é de 10 a 15m contra 4 a 6m do cerrado. Pode ser encontrado na Chapada do Araripe, Ceará, Maranhão, Piauí e extremo norte da Bahia, em razão de melhores condições edáficas.

k) Campos Aluviais – são constituídos principalmente de gramíneas e ciperáceas que ocupam várzeas de rios ou depressões próximas ao litoral, sob a influência das marés. Quando sofre influência tanto das cheias dos rios quanto das marés, são chamados campos aluviais fluviomarinhos.

l) Vegetação de Praias, Dunas e Restingas – são associações vegetais e suas variadas fisionomias, que ocorrem nos litorais arenosos, incluindo as comunidades pioneiras das praias. Podem ser encontradas no litoral do Maranhão e Piauí.

m) Mangue – ocorre em quase toda extensão dos litorais tropicais do mundo e possui fisionomia homogênea devido à presença de espécies homólogas. Do ponto de vista fisionômico apresenta variações quanto à altura dos indivíduos, sendo que no Maranhão e em todo litoral norte suas espécies alcançam portes mais elevados que em outras áreas, constituindo verdadeiras florestas.

n) Vegetação Rupreste – ocorre em terrenos pedregosos, solos rasos e em altitudes acima de 1000m. Registrada principalmente na Chapada Diamantina. Possui tamanho reduzido e forma em roseta que proporciona retenção de água da chuva nas bainhas foliares.

o) Carnaubal – é a mata ciliar de carnaúba, comum nos baixos cursos dos rios da vertente norte do nordeste oriental.

## 3.2 Metodologia

### 3.2.1 Índice de Vegetação por Diferença Normalizada - IVDN

Os dados remotos utilizados neste estudo são composições temporais quinzenais do IVDN para a Região Nordeste do Brasil, extraídas das imagens do IVDN do AVHRR/NOAA para América do Sul. Foram adaptados programas computacionais para proceder a seleção da área de estudo e a transformação do sistema de coordenadas dos satélites (linhas e colunas) para pontos de latitude e longitude. Esse procedimento remontou as imagens numa resolução de  $5,5 \times 5,5 \text{ Km}^2$ .

A partir das imagens remontadas na resolução espacial de  $5,5 \times 5,5 \text{ Km}^2$ , fez-se uma média de 25 pontos de IVDN e esta foi atribuída ao ponto médio, reduzindo assim a resolução para  $27,5 \times 27,5 \text{ Km}^2$ .

A conversão dos counts para valores de IVDN é dada pela seguinte expressão:

$$DN = (IVDN * 128) + 127 \quad (2)$$

DN =	0	_____	128	_____	255
IVDN =	-1		0		+1

Logo,

$$IVDN = \frac{DN - 127}{128} \quad (3)$$

Os dados do IVDN, para cada quinzena, foram processados, organizados sob a forma de matriz e utilizados para estimar o IAF e a Vfrac.

### 3.2.2 Índice da Área Foliar (IAF)

O IAF é uma medida de densidade vertical da cobertura vegetal e pode ser estimado como uma função do índice de vegetação (IVDN). Morrow e Friedl (1998) definiram o IAF como:

$$IAF = \frac{\log\left(\frac{IVDN - IVDN_{\infty}}{IVDN_g - IVDN_{\infty}}\right)}{-K_{IVDN}} \quad (4)$$

O IVDN é o valor do índice de vegetação a partir do AVHRR/NOAA, o  $IVDN_g$  é o valor do IVDN para o solo nu, o  $IVDN_{\infty}$  é o valor do índice quando o IAF tende a infinito e  $K_{IVDN}$  o coeficiente controlando a inclinação da reta de correlação entre o IAF e o IVDN.

Segundo Matsushita e Tamura (2002) o IAF pode ser determinado pela seguinte equação:

$$IAF = a * \exp(b * IVDN + c) \quad (5)$$

Os coeficientes **a** e **c** são determinados de acordo com o mapa de cobertura do solo, o tipo de solo e o IVDN do solo. O coeficiente **b** é uma constante (**b** = 1,2).

Outro método bastante utilizado para estimação do índice de área foliar é o sugerido por Ha *et al.* (2001). Os autores descrevem métodos distintos de estimação do IAF para três tipos de vegetação: para pastagem, para folhas pontiagudas e para floresta mista respectivamente, veja-se Tabela 2.

$$IAF = IVDN * 1,71 + 0,4 \quad (6)$$

$$IAF = \left( \frac{IVDN}{0,31} \right)^{0,2} \quad (7)$$

$$IAF = \left( \frac{IVDN}{0,26} \right)^2 \quad (8)$$

Tabela 2 – Classificação dos três tipos de vegetação utilizados na estimação do IAF por Ha *et al.* (2001)

Classificação	Tipo de Cobertura Vegetal
Pastagem	Decídua com folha larga, Sempre verde com folha larga, Floresta Mista, Savana, Arbustos.
Folhas Pontiagudas	Decídua com folha pontiaguda, Sempre verde com folha pontiaguda.
Folha Larga	Floresta Decídua Folha Larga, Floresta Sempre verde folha larga e Floresta Mista.

FONTE: Adaptada de Ha *et al.* (2001, p. 113).

Neste trabalho optou-se pelo método sugerido por Ha *et al.* (2001) para estimar o índice de área foliar por apresentar formas distintas para estimação do índice em cada tipos de cobertura vegetal e devido à exigência de alguns parâmetros desconhecidos nos demais métodos citados.

### 3.2.3 Fração Vegetada

A fração de cobertura vegetada foi parametrizada através da quantidade de vegetação que ocupa cada célula de grade do modelo (densidade horizontal). Segundo Gutman e Ignatov (1998) a fração de vegetação pode ser calculada da seguinte forma:

$$Vfrac = \frac{IVDN - IVDN_o}{IVDN_m - IVDN_o} \quad (9)$$

Em que:  $IVDN_o$  é mínimo valor do índice de vegetação para área em estudo,  $IVDN_m$  é o máximo valor do índice da série utilizada e o  $IVDN$  é o valor médio do índice de vegetação em cada ponto de grade (27,5 x 27,5 Km<sup>2</sup>).

### 3.2.4 Modificação dos Parâmetros da Vegetação

Inicialmente foi feita uma comparação entre o tipo de vegetação conforme mapa IBGE (Figura 3) com o existente no modelo regional RAMS para região do NEB (Figura 4), descritos na seção 3.1.4. Verificando-se diferenças entre os tipos de vegetação, calculou-se os respectivos IAF, pelo método sugerido por Ha *et al.* (2001) e a  $Vfrac$  segundo Gutman e Ignatov (1998) para cada tipo de cobertura para os anos de 1983 e 1986. As simulações numéricas foram divididas em duas partes: uma com os parâmetros originais da cobertura vegetal do modelo regional (doravante chamada de simulação controle) e outra com os parâmetros de vegetação (IAF e  $Vfrac$ ) estimados a partir de dados do  $IVDN$ , a qual será chamada de simulação modificada. Nas tabelas 3 e 4 encontram-se os resultados dos parâmetros estimados nas simulações.

Observa-se que os valores do índice de vegetação por diferença normalizada para o ano de 1983, em geral são maiores que os índices para o ano de 1986, com exceção da região de Caatinga (tipo 13) onde verifica-se valores do  $IVDN$  em torno de 0,45 para 1983 e de 0,53 em 1986. Nessa região a precipitação para o mês de março, que responde

por esses índices (Anexo A1) do ano de 1986 foi superior a de 1983. Para Mata Atlântica e Cerrado (tipo 24) os índices pluviométricos do mês de março de 1983 foram maiores que os de 1986, esses resultados concordam com os obtidos por Batista (1993) para região Amazônica. Isso explica os menores valores do IVDN em 1986, conseqüentemente menores IAF e Vfrac. Na região de Florestas perenifólia e com babaçu (tipo 06) a precipitação em 1983 foi superior a de 1986 no sul da Bahia e inferior no noroeste do Maranhão. Portanto, os maiores valores do IVDN no ano de 1983 estão associados com a predominância das condições da mata Hiléia Baiana sobre a floresta com babaçu.

Tabela 3 – Propriedades físicas utilizadas pelo modelo de vegetação do RAMS para a simulação 1 (1983)

Tipo	Vegetação	NDVI	Vfrac <sub>RAMS</sub>	Vfrac <sub>Est</sub>	IAF <sub>RAMS</sub>	IAF <sub>Est</sub>
24	Mata Atlântica e Cerrado	0,49	0,80	0,61	5,0	3,6
15	Caatinga	0,51	0,85	0,66	6,0	1,3
13	Caatinga	0,45	0,80	0,65	6,0	1,2
6	F.Est. Per. e c/ Babaçu	0,52	0,90	0,71	6,0	4,1

Tabela 4 – Propriedades físicas utilizadas pelo modelo de vegetação do RAMS para a simulação 2 (1986)

Tipo	Vegetação	NDVI	Vfrac <sub>RAMS</sub>	Vfrac <sub>Est</sub>	IAF <sub>RAMS</sub>	IAF <sub>Est</sub>
24	Mata Atlântica e Cerrado	0,46	0,80	0,55	5,0	3,2
15	Caatinga	0,50	0,85	0,63	6,0	1,3
13	Caatinga	0,53	0,80	0,68	6,0	1,3
6	F.Est. Per. e c/ Babaçu	0,50	0,90	0,72	6,0	3,6

## **4 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Neste estudo foram analisados e discutidos os seguintes campos: fluxo de calor sensível ( $\text{Wm}^{-2}$ ), fluxo de calor latente ( $\text{Wm}^{-2}$ ), radiação de ondas Longas e ondas curtas ( $\text{Wm}^{-2}$ ), radiação de ondas longas emergente da superfície ( $\text{Wm}^{-2}$ ), precipitação convectiva acumulada (mm), precipitação da microfísica (mm), umidade do solo ( $\text{m}^3\text{m}^{-3}$ ), razão de mistura ( $\text{gkg}^{-1}$ ) e temperatura potencial (K), para os cinco primeiros dias do mês de abril dos anos de 1983 e 1986 a cada três horas, ou seja, de 00:00 UTC do dia 01 abril às 00:00 UTC do 05 de abril.

### **4.1 Fluxo Médio de Calor Sensível para a Região Nordeste do Brasil**

Analisando-se o comportamento do fluxo médio de calor sensível sobre a região do NEB (delimitada pelos paralelos  $19^\circ\text{S}$  a  $1^\circ\text{N}$  e pelos os meridianos  $49^\circ\text{W}$  e  $34^\circ\text{W}$ ), para os cinco primeiros dias dos meses de abril dos anos de 1983 (Figura 5) e de 1986 (Figura 6) verifica-se que para as duas situações, o fluxo de calor sensível apresenta um ciclo diurno bem definido, aumentando sua intensidade no início da manhã,



aproximadamente às 09:00 UTC (06:00 HL), atingindo valor máximo aproximadamente às 15:00 UTC (12:00 HL) e tornando a decrescer rapidamente logo após a ocorrência do máximo, até as 21:00 UTC (18:00 HL). A Figura 5 ilustra a variabilidade diurna do fluxo de calor sensível para o ano seco de 1983, gerada a partir das duas simulações. Como se pode observar, não ocorreram mudanças significativas entre a simulação modificada e a controle durante o período, excetuando os dois primeiros dias nos quais o fluxo de calor sensível obtido da simulação modificada superou o fluxo da controle. Esse aumento do fluxo pode estar relacionado com a diminuição de cobertura vegetal (Tabelas 3 e 4) que provocou um aquecimento da superfície do solo, neste caso mais descoberto, e do ar adjacente, aumentando assim o gradiente de temperatura da superfície e conseqüentemente o fluxo de calor sensível.

A Figura 6 mostra a variabilidade diária do fluxo de calor sensível para o ano de 1986. Observa-se que a simulação modificada não se distancia da simulação controle, mas apresenta valores relativamente maiores em relação a 1983. Isso porque, apesar de 1986 ter sido chuvoso, os valores estimados do IAF e  $V_{frac}$  foram menores, como pode ser observado nas Tabelas 3 e 4.

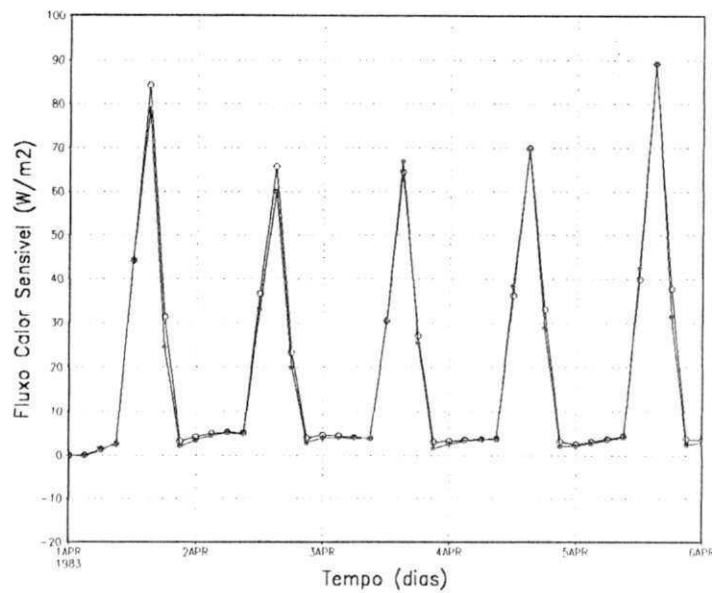


Figura 5 – Ciclo médio do Fluxo de Calor Sensível (círculos vazios – simulação modificada e círculos preenchidos - simulação controle) para a região do NEB para o período de 01 a 06 de 1983

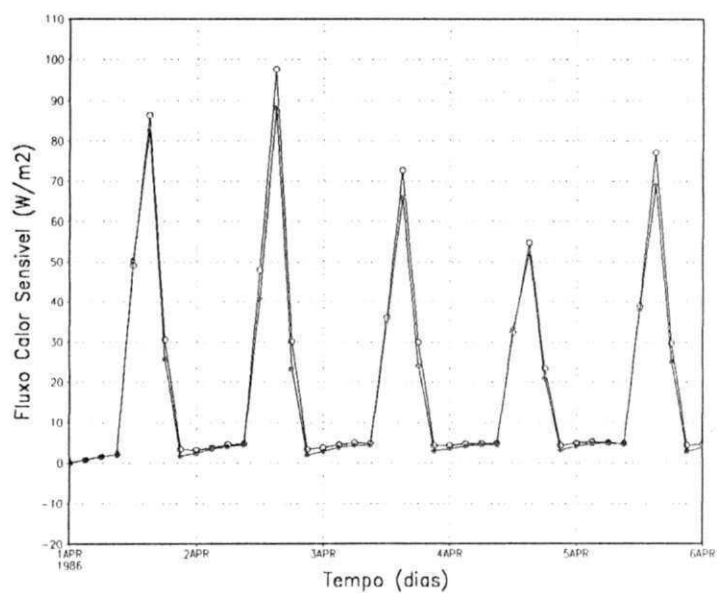


Figura 6 – Ciclo médio do Fluxo de Calor Sensível (círculos vazios – simulação modificada e círculos preenchidos - simulação controle) para a região do NEB para o período de 01 a 06 de Abril de 1986

#### 4.1.1 Ciclo médio do Fluxo de Calor Sensível para cobertura Caatinga

Considerando-se a variabilidade média do fluxo de calor sensível sobre uma cobertura vegetal homogênea, a Caatinga (tipo 13) para o ano de 1983, com área limitada pelas latitudes de 10°S a 1°S e longitudes 42°W a 36°W, observa-se que para as duas simulações a intensidade do fluxo é maior em relação à média da região do NEB (Figura 7). Na simulação controle, verifica-se a existência de alguns valores máximos superiores a  $110 \text{ Wm}^{-2}$ . Isso pode ser explicado pelo tipo de cobertura do solo, uma vez que a Caatinga é uma vegetação do tipo esparsa, na qual a maior parte do solo fica descoberta e a maior parte da energia da superfície é utilizada para aquecer, elevando assim a temperatura da superfície. Para a simulação 2, o fluxo de calor sensível aumenta em relação a simulação controle cerca de 20% no primeiro dia de integração e 50% no quarto dia. Essas diferenças entre as simulações podem ter sido influenciadas por diferentes condições de disponibilidade de energia.

Para o ano chuvoso de 1986 a variabilidade do fluxo de calor sensível é bem superior ao de 1983, chegando a máximos de  $120 \text{ Wm}^{-2}$  (Figura 8), isso se verifica porque nos anos mais chuvosos o teor de umidade é mais elevado e as temperaturas são inferiores a anos com menor quantidade de eventos de precipitação. Na simulação modificada observa-se uma elevação do fluxo em torno de 20% com relação à simulação controle, mas não se verifica grande variação durante o período, como observado em 1983. A simulação modificada em 1986 se manteve próxima da simulação controle com variação de no máximo 20%.

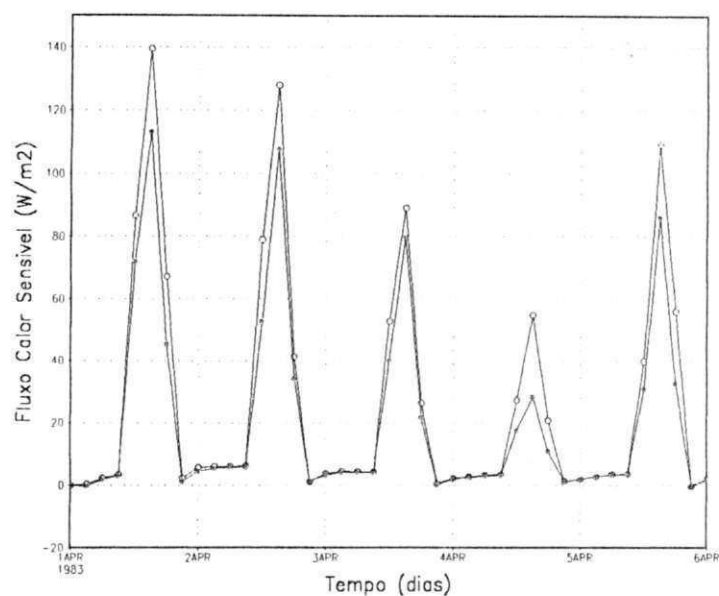


Figura 7 – Ciclo médio espacial do Fluxo de Calor Sensível (círculos vazios – simulação modificada e círculos preenchidos - simulação controle) para a região de Caatinga no NEB no período de 01 a 06 de Abril de 1983

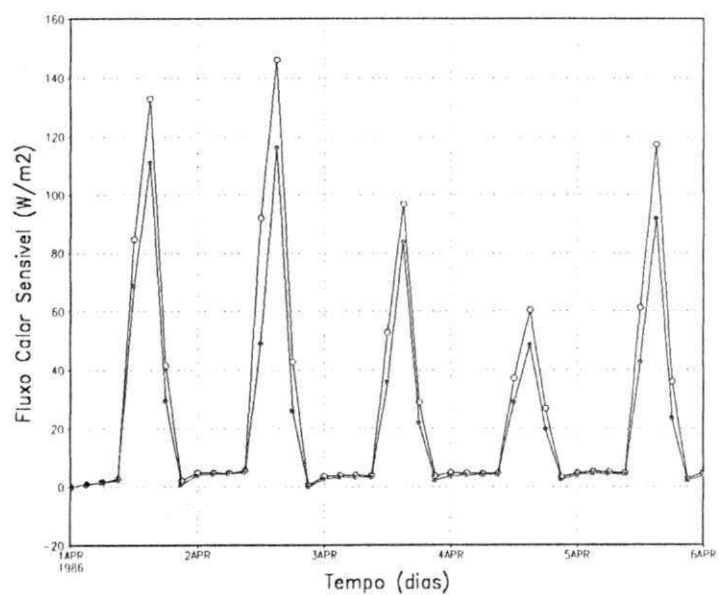


Figura 8 – Ciclo médio do Fluxo de Calor Sensível (círculos vazios – simulação modificada e círculos preenchidos - simulação controle) para a região de Caatinga no NEB no período de 01 a 06 de Abril de 1986

#### 4.1.2 Ciclo médio do Fluxo de Calor Sensível para cobertura Floresta e Babaçu

Para a cobertura do tipo 6, composta por Floresta Estacional Perenifólia e Floresta Estacional Perenifólia com Babaçu, localizadas entre os paralelos de 6°S a 1°S e meridianos de 48° W a 42° W, na simulação controle observa-se uma redução do fluxo de calor sensível em relação a média do NEB em 1983, exceto no quinto dia quando o fluxo atinge máximo de  $150 \text{ Wm}^{-2}$  (Figura 9). A redução do fluxo de calor sensível se verifica devido à cobertura vegetal ser mais densa e reter mais umidade na planta e no solo. Em consequência disso, a maior parte da energia disponível é utilizada para evapotranspiração e não para o aquecimento. Analisando a simulação modificada o fluxo de calor sensível aumenta um pouco até o segundo dia do período em estudo, decrescendo nos demais dias com relação à simulação controle.

Ao contrário de 1983 no ano de 1986 o fluxo de calor sensível para a Floresta Estacional se manteve acima da média para região do NEB (Figura 10), no mesmo ano, atingindo máximos acima de  $150 \text{ Wm}^{-2}$ . A simulação modificada também se elevou em todo período com relação a de controle. O aumento do fluxo de calor sensível em 1986 pode ser explicado devido aos valores estimados do índice de área foliar e a fração vegetada para 1986, derivados do IVDN serem menores, apesar de 1986 ser um ano chuvoso, vide seção 3.2.4.

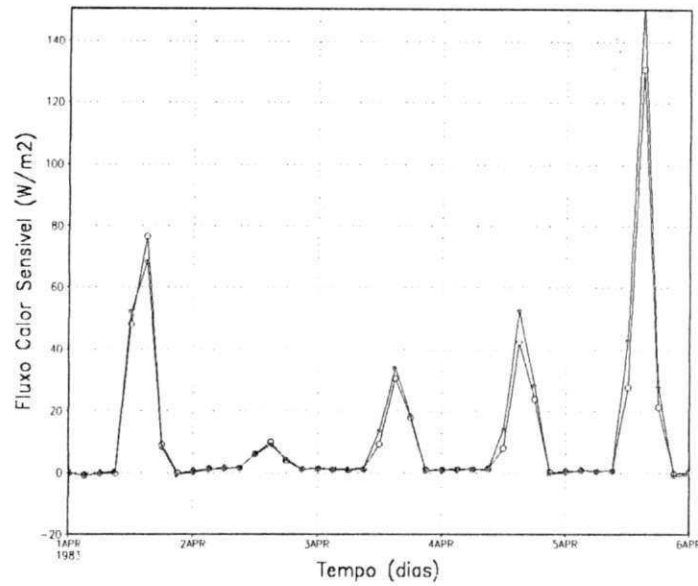


Figura 9 – Ciclo médio do Fluxo de Calor Sensível (círculos vazios – simulação modificada e círculos preenchidos - simulação controle) para a região de Floresta Estacional e Babaçu no NEB no período de 01 a 06 de Abril de 1983

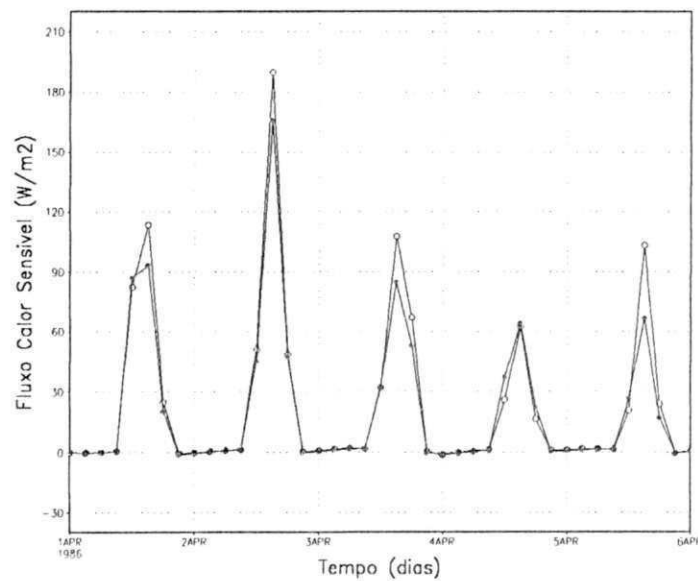


Figura 10 – Ciclo médio do Fluxo de Calor Sensível (círculos vazios – simulação modificada e círculos preenchidos - simulação controle) para a região de Floresta Estacional e com Babaçu no NEB no período de 01 a 06 de Abril de 1986

Em síntese, a modificação dos parâmetros da vegetação mostra resultados significativos, com maior variação do fluxo de calor sensível para regiões de cobertura vegetal homogênea como observado para a Caatinga e para Floresta Estacional Perenifolia e com Babaçu. Entretanto, observa-se que o fluxo de calor sensível em média aumenta em toda a região Nordeste do Brasil. Conforme a análise anterior, isso ocorre possivelmente devido à redução de vegetação fazendo com que haja uma elevação da temperatura do solo, tornando o gradiente de temperatura próximo à superfície maior, como consequência ocasionará uma camada de mistura mais vigorosa.

#### **4.2 Ciclo médio do Fluxo de Calor Latente no NEB**

A Figura 11 mostra a variabilidade média espacial do fluxo de calor latente, obtida a partir das simulações controle e modificada do modelo regional para a região do NEB para o ano de 1983. Verifica-se um aumento do fluxo de calor latente desde o início da manhã em torno de 09:00 UTC (06:00 HL) até às 15:00 UTC (12:00 HL), retornando a um valor mínimo no fim da tarde 21:00UTC (18:00 HL). O valor máximo observado de quase  $300 \text{ Wm}^{-2}$  ocorre as 15:00 UTC (12:00 HL) do primeiro dia de simulação. No segundo, terceiro e quarto dias de integração verifica-se um decréscimo do máximo para  $230 \text{ Wm}^{-2}$  e no quinto dia uma ligeira alta para  $250 \text{ Wm}^{-2}$ . Analisando o ciclo diário do fluxo de calor latente observa-se que a taxa máxima de evapotranspiração média ao longo do dia se verifica as 15:00 UTC (meio dia local) (Figura 11). Para a simulação modificada o comportamento do ciclo diurno do fluxo de calor latente é similar ao da simulação controle, mas como era e se esperar o fluxo diminui cerca de 10%. Isso se explica pela

diminuição do IAF e a  $V_{frac}$ . A redução dos parâmetros resulta na diminuição do efeito da vegetação, reduzindo a transpiração e conseqüentemente a taxa de evapotranspiração. Verifica-se ainda que na simulação modificada a evapotranspiração tende a ser menor nas primeiras horas do dia e aumentar no fim da tarde. Para o ano de 1986 o comportamento é similar (Figura 12).

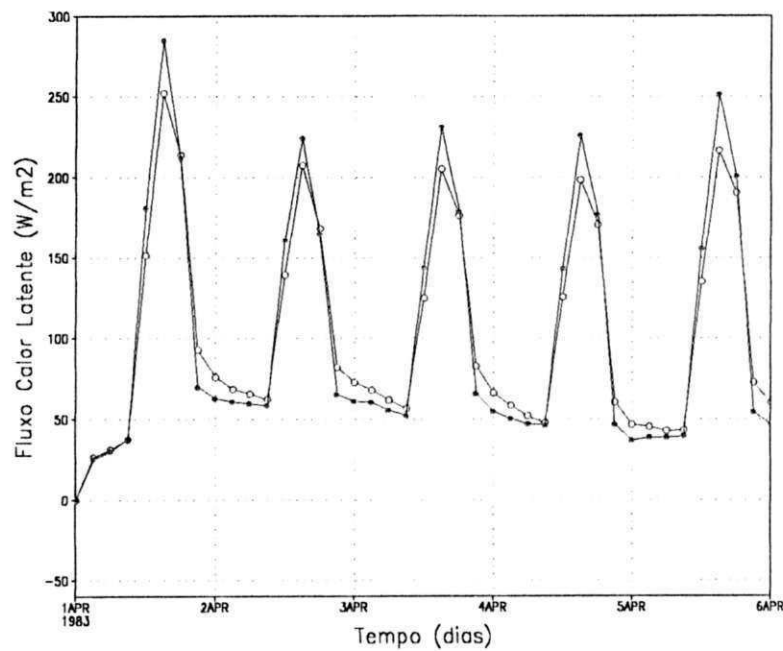


Figura 11 – Ciclo médio do Fluxo de Calor Latente (círculos vazios – simulação modificada e círculos preenchidos - simulação controle) para a região do NEB no período de 01 a 06 de Abril de 1983



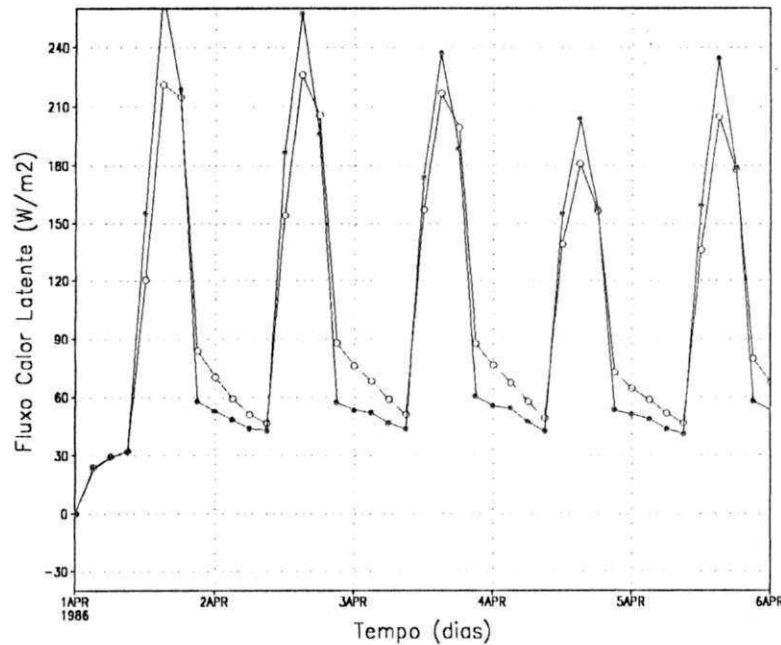


Figura 12 – Ciclo médio do Fluxo de Calor Latente (círculos vazios – simulação modificada e círculos preenchidos - simulação controle) para a região do NEB no período de 01 a 06 de Abril de 1986

#### 4.2.1 Ciclo médio do Fluxo de Calor Latente para a Caatinga no NEB

No período seco, a maioria das espécies de caatinga fica sem folhas como principal mecanismo de defesa à perda d'água. Ao mesmo tempo a forma como os galhos ou ramos arbustivos se entrelaçam cria uma proteção contra a incidência direta da radiação, o que possibilita reter por mais tempo a umidade do solo, que é muito escassa no período (Correia, 2001).

A Figura 14 ilustra o ciclo médio do fluxo de calor latente da Caatinga no ano seco de 1983. Observa-se que o calor latente ficou acima da média do NEB chegando a máximos superiores a  $300 \text{ Wm}^{-2}$  no primeiro dia da simulação, decrescendo no segundo, terceiro e quarto dias, voltando a aumentar no quinto dia de integração. Isso pode ser devido à resposta do modelo que tende a evaporar mais rapidamente no primeiro dia de simulação, como uma das formas do processo de ajuste. Entretanto, na situação em que o teor de umidade na atmosfera é relativamente baixo, característica de anos secos como é o caso de 83, a taxa de evaporação da superfície é inicialmente alta e a maior parte da energia absorvida pela superfície é redistribuída através do fluxo de calor latente. No decorrer do tempo, há uma secagem gradativa das camadas superiores do solo, a evaporação diminui e a temperatura aumenta. A queda do fluxo de calor latente no quarto dia de simulação pode ter sido ocasionada pela resposta da vegetação a disponibilidade hídrica na superfície do solo. Depois de muito transpirar, perdendo água para o ar, devido a maior disponibilidade de água no solo para evaporar. A taxa de evapotranspiração diminui a partir do quarto dia de integração e conseqüentemente há um decréscimo na taxa de calor latente. Nota-se que a superfície do solo encontra-se mais seca no quarto dia de integração, como se pode observar a partir do perfil de umidade do solo (Figura 13).

Na simulação modificada observa-se que houve um decréscimo do fluxo de calor latente no período, com a diminuição de área vegetada, mas o fluxo continua acima do valor médio da região NEB como ilustra a Figura 14.

Para o ano de 1986 o fluxo de calor latente diminui em relação ao fluxo em 1983, mas possui o mesmo ciclo e características semelhantes (Figura 15). Essa queda no

fluxo de calor latente para 1986 pode ser explicada devido aos menores valores estimados para o IAF e a  $V_{frac}$  para 1986 (Tabela 4).

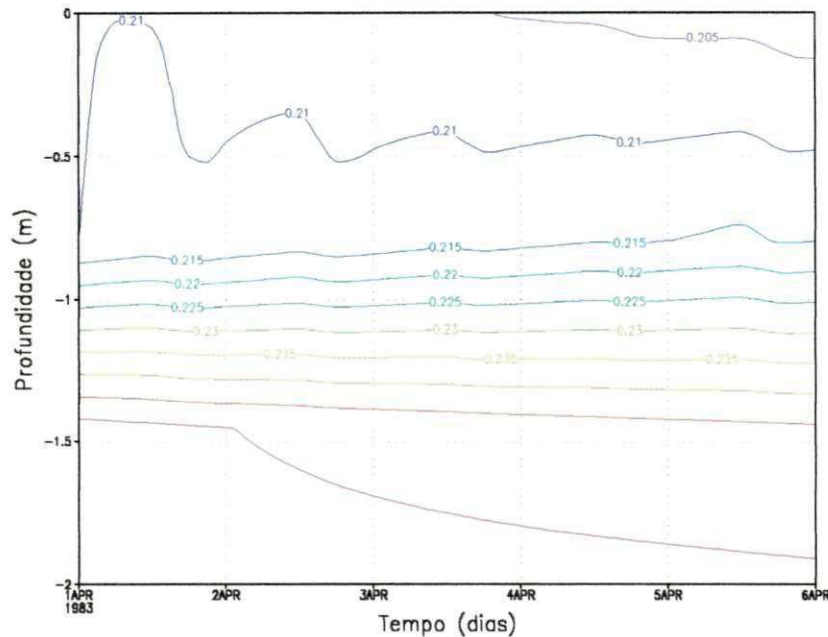


Figura 13 - Perfil médio da Umidade do Solo para a região de Caatinga no NEB no período de 01 a 06 de Abril de 1983

Outra característica importante e mais evidente para a vegetação do tipo Caatinga é o comportamento do fluxo de calor latente, no início da manhã 09:00 UTC (06:00 HL) e no fim da tarde 21:00 UTC (18:00 HL), na simulação modificada (Figuras 14 e 15). O fluxo de calor latente tende a aumentar gradativamente no início da manhã na simulação modificada enquanto na simulação controle a elevação do fluxo é mais brusco. No entanto ao fim da tarde 21:00 UTC (18:00 HL) o fluxo tende a decrescer mais rapidamente na simulação modificada. Pode-se observar que, na simulação modificada, há uma tendência de evaporar menos durante o dia e mais durante a noite.

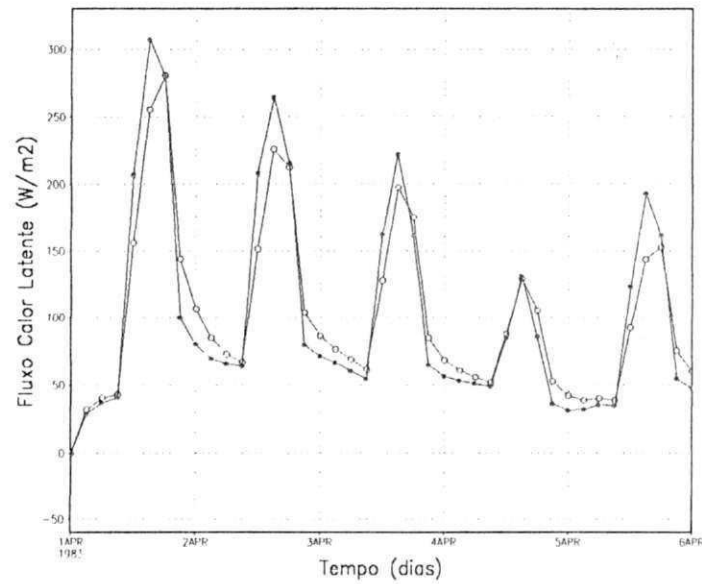


Figura 14 – Ciclo médio do Fluxo de Calor Latente (círculos vazios – simulação modificada e círculos preenchidos - simulação controle) para a região de Caatinga no NEB no período de 01 a 06 de Abril de 1983

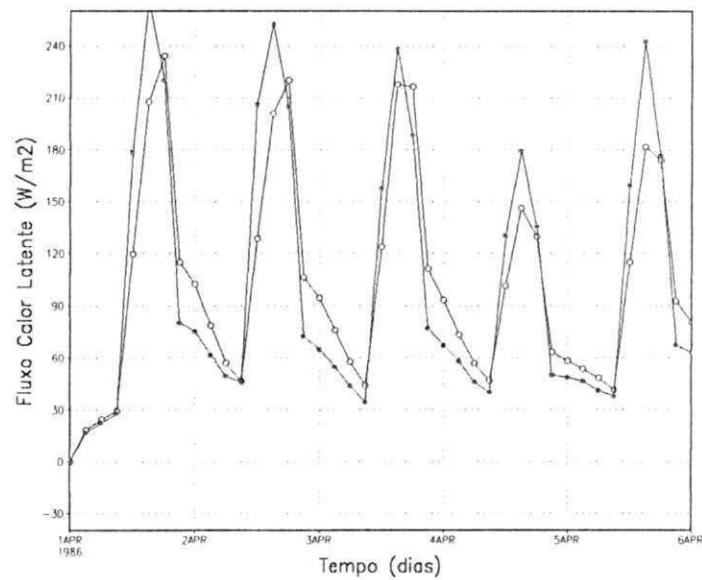


Figura 15 – Ciclo médio do Fluxo de Calor Latente (círculos vazios – simulação modificada e círculos preenchidos - simulação controle) para a região de Caatinga no NEB no período de 01 a 06 de Abril de 1986

#### **4.2.2 Ciclo médio do Fluxo de Calor Latente para a Floresta Estacional e com Babaçu no NEB**

Para Floresta Estacional Perenifólia e Floresta Estacional Perenifólia com Babaçu verifica-se, para 1983, que o fluxo de calor latente atinge máximo de  $330 \text{ Wm}^{-2}$ , no primeiro dia da simulação, decrescendo até as 21:00 UTC e tornando a aumentar a partir do segundo dia, atingindo picos de no máximo  $150 \text{ Wm}^{-2}$  (Figura 16). Assim a taxa máxima de evapotranspiração, para Floresta no período, ocorre no primeiro dia de simulação, mas isso pode ser devido aos ajustes que são feitos pelo modelo no início da integração. Para simulação modificada o fluxo de calor latente diminui.

Para o ano de 1986 o fluxo de calor latente aumenta em relação à média para o NEB e em relação a 1983, isso por ser 1986 um ano chuvoso, há disponibilidade hídrica no solo e os valores do fluxo de calor latente são altos. Para simulação modificada o fluxo de calor latente é menor (Figura 17).

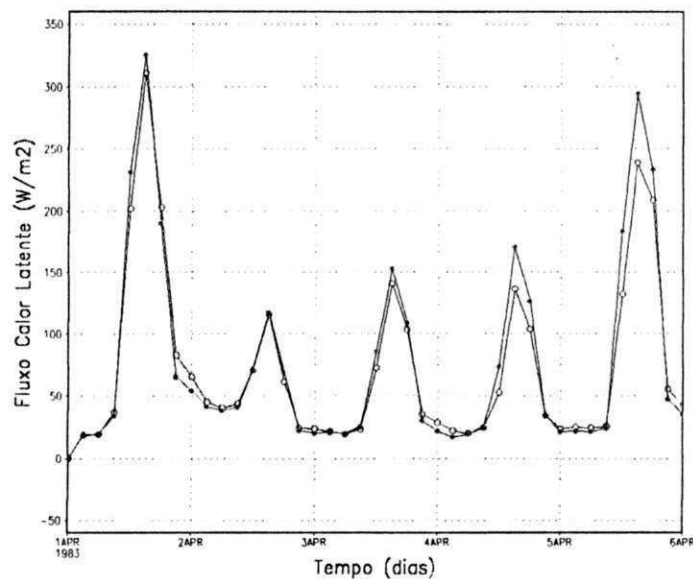


Figura 16 – Ciclo médio do Fluxo de Calor Latente (círculos vazios – simulação modificada e círculos preenchidos - simulação controle) para a região de Floresta Estacional Perenifólia e babaçu no NEB para o período de 01 a 06 de Abril de 1983

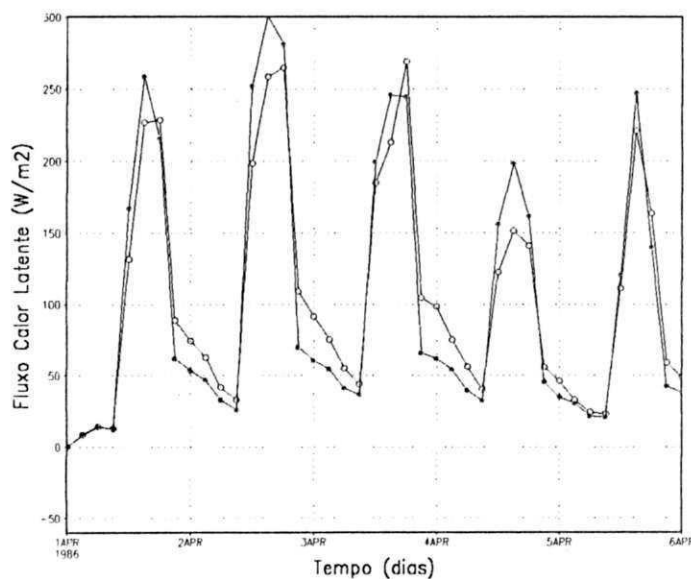


Figura 17 – Ciclo médio do Fluxo de Calor Latente (círculos vazios – simulação modificada e círculos preenchidos - simulação controle) para a região de Floresta Estacional Perenifólia e com babaçu no NEB para o período de 01 a 06 de Abril de 1986

### 4.3 Precipitação Convectiva Acumulada e Precipitação da Microfísica

A análise da média temporal da precipitação acumulada da região Nordeste do Brasil mostra que a partir do segundo dia da simulação modificada para 1983 a precipitação convectiva acumulada aumentou aproximadamente 10% em relação à simulação controle, mostrando que as modificações na quantidade de cobertura vegetal favorecem de alguma forma a precipitação (Figura 18).

A contribuição da precipitação a partir da microfísica é bem menor comparada com a precipitação convectiva acumulada (Figura 18). Isso pode ser esperado já que a escala horizontal não é propícia para esse tipo de parametrização. Conforme mostrado por (Bezerra, 2002) a precipitação da microfísica aumenta a medida em que se diminui o espaçamento horizontal da grade. Para simulação modificada não se verificam grandes alterações na precipitação da microfísica.

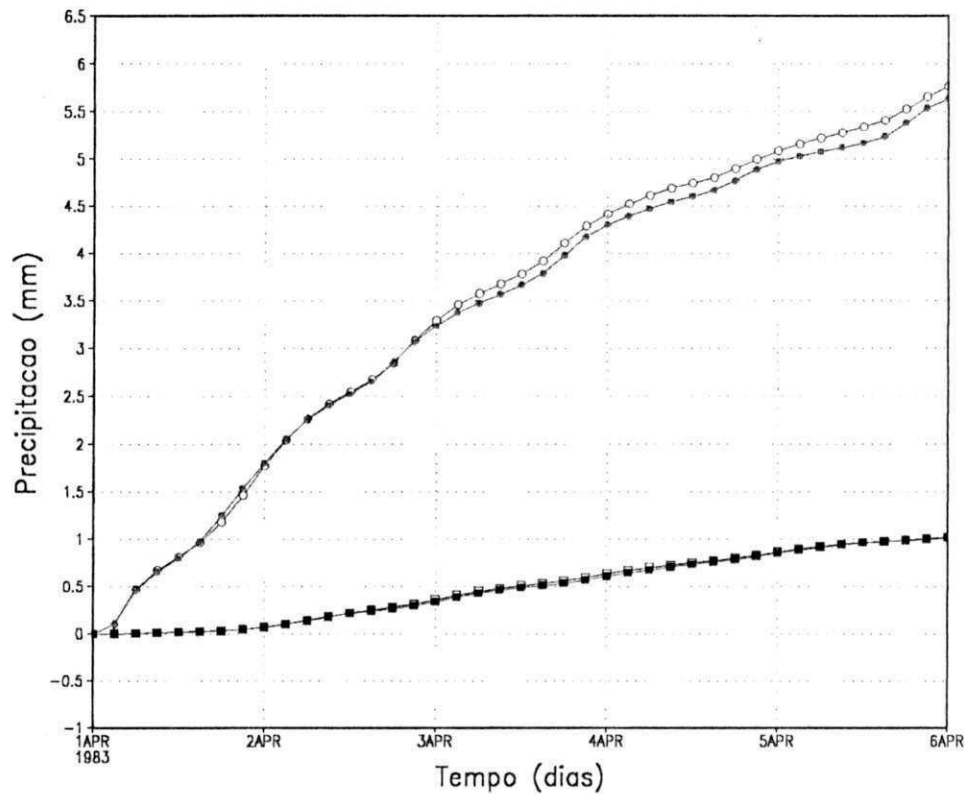


Figura 18 – Evolução Temporal da Precipitação Acumulada (círculos vazios – simulação modificada e círculos preenchidos - simulação controle) Precipitação da Microfísica (quadrados vazios – simulação modificada e quadrados preenchidos - simulação controle) para a região do NEB para o período de 01 a 06 de Abril de 1983

Para o ano chuvoso de 1986 o modelo prevê mais precipitação comparada ao ano de 1983. Na simulação modificada, a precipitação também é aumentada de aproximadamente 10%. Já a precipitação da microfísica é diminuída. Isso porque a precipitação da microfísica é alimentada, entre outras coisas pelo vapor local. Ao modificar os parâmetros da vegetação diminuí a taxa de evapotranspiração e conseqüentemente a precipitação da microfísica, (Figura 19).



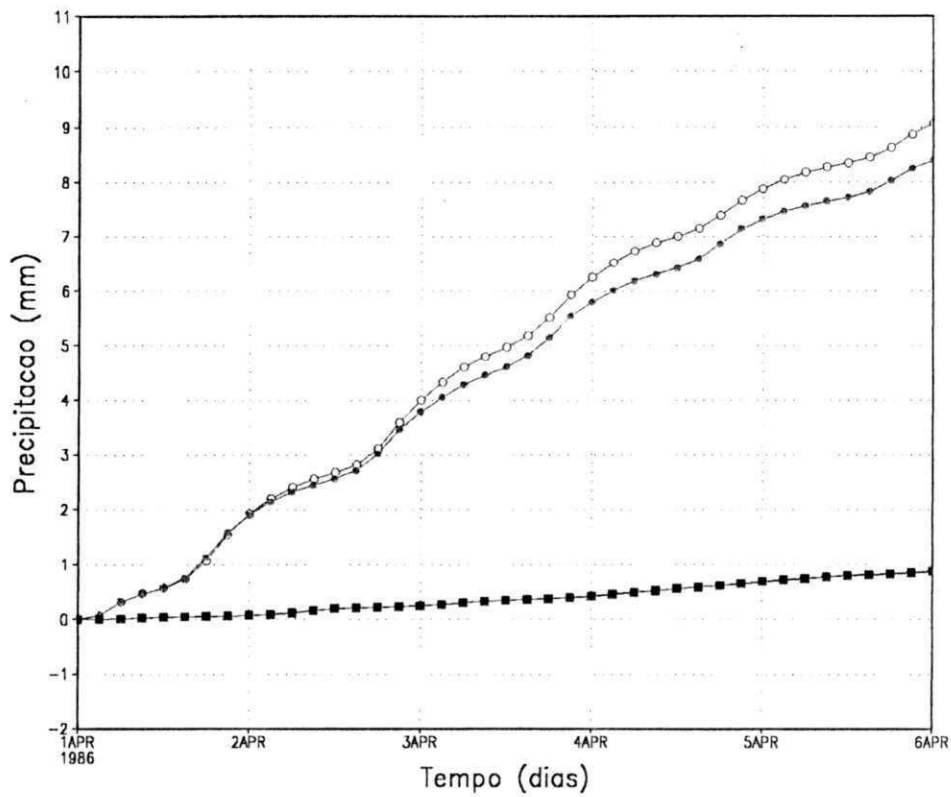


Figura 19 – Evolução Temporal da Precipitação Acumulada (círculos vazios – simulação modificada e círculos preenchidos - simulação controle) Precipitação da Microfísica (quadrados vazios – simulação modificada e quadrados preenchidos - simulação controle) para a região do NEB para o período de 01 a 06 de Abril de 1986

A maior contribuição da precipitação acumulada foi superior a 12 mm (Figura 20) para a Floresta Estacional Perenifólia e Floresta Estacional Perenifólia com Babaçu para o ano de 1986. Observa-se que a precipitação da microfísica gerada pela simulação modificada aumentou um pouco nesse período.

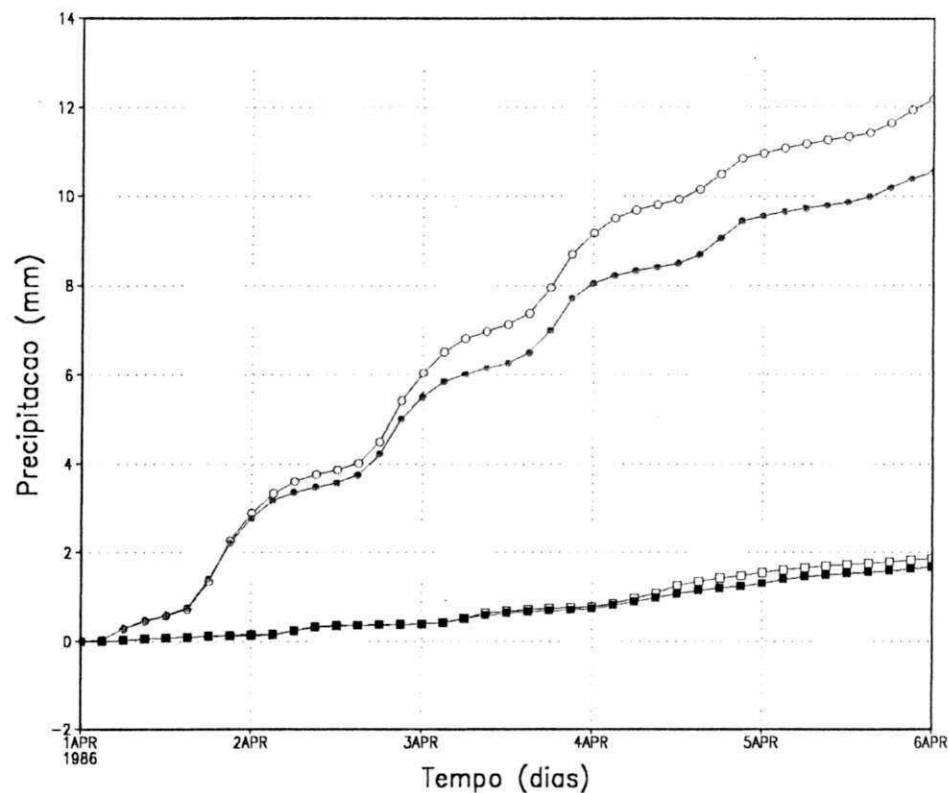


Figura 20 – Evolução Temporal da Precipitação Acumulada (círculos vazios – simulação modificada e círculos preenchidos - simulação controle) e da Precipitação da Microfísica (quadrados vazios – simulação modificada e quadrados preenchidos - simulação controle) para a região de Floresta Estacional Perenifólia e com babaçu para o período de 01 a 06 de Abril de 1986

A análise da distribuição espacial da precipitação total acumulada, soma da precipitação convectiva e da microfísica, para o ano de 1983, apresenta maiores totais no Ceará, Piauí, Maranhão e oeste da Bahia com maiores núcleos a sudoeste do São Francisco (Figura 21). A simulação modificada (Figura 22) apresenta um acréscimo da precipitação no Estado do Maranhão, região central do Piauí e sul do Ceará.

Note-se que, na maior parte da região a precipitação diminuiu no experimento modificado. Não obstante, nas regiões em que o experimento modificado produziu maior precipitação, a diferença foi elevada modo que a média em todo domínio foi maior.

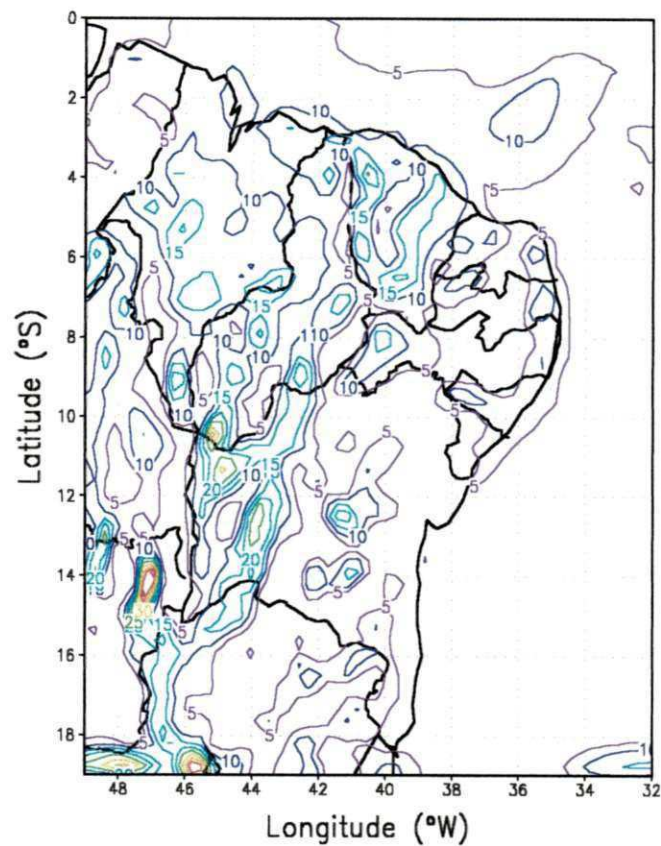


Figura 21 – Distribuição espacial da Precipitação Total Acumulada para Região do NEB para o experimento 1983 (Simulação Modificada)

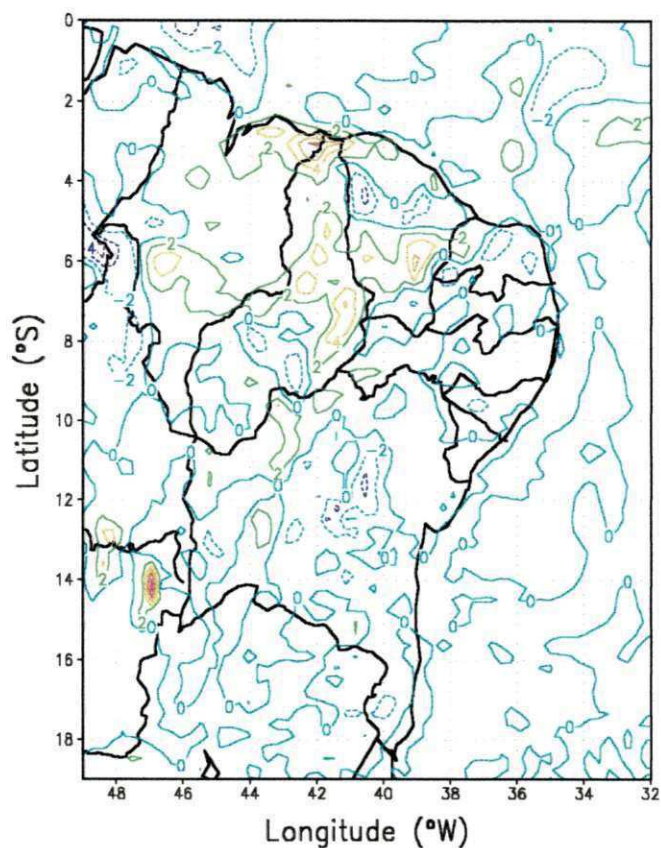


Figura 22 – Distribuição espacial da diferença entre a simulação modificada e a de controle da Precipitação Total Acumulada para Região do NEB para 1983

Para 1986 a distribuição espacial da precipitação total apresenta-se bastante homogênea para toda região do NEB (Figura 23). A simulação modificada apresenta um aumento de até 4mm na porção Norte do Nordeste (Figura 24).

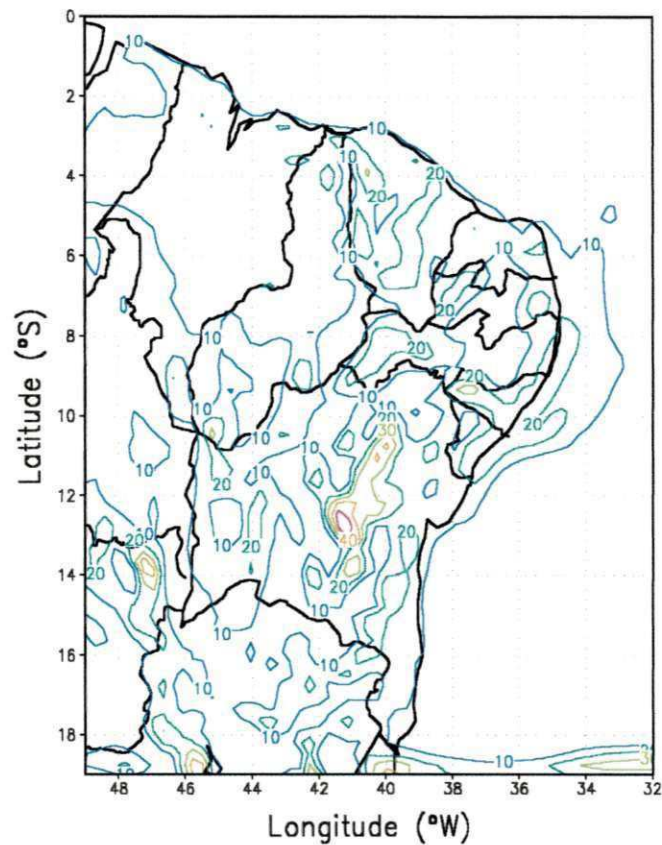


Figura 23 – Distribuição espacial da Precipitação Total Acumulada para Região do NEB para 1986 (Simulação Modificada)

Nota-se que para o ano de 1986, o resultado é diferente de 1983. Neste caso a área com diferenças positivas parece ser maior. Essa elevação contribui para aumentar a precipitação em toda região do Nordeste brasileiro (Figura 19).



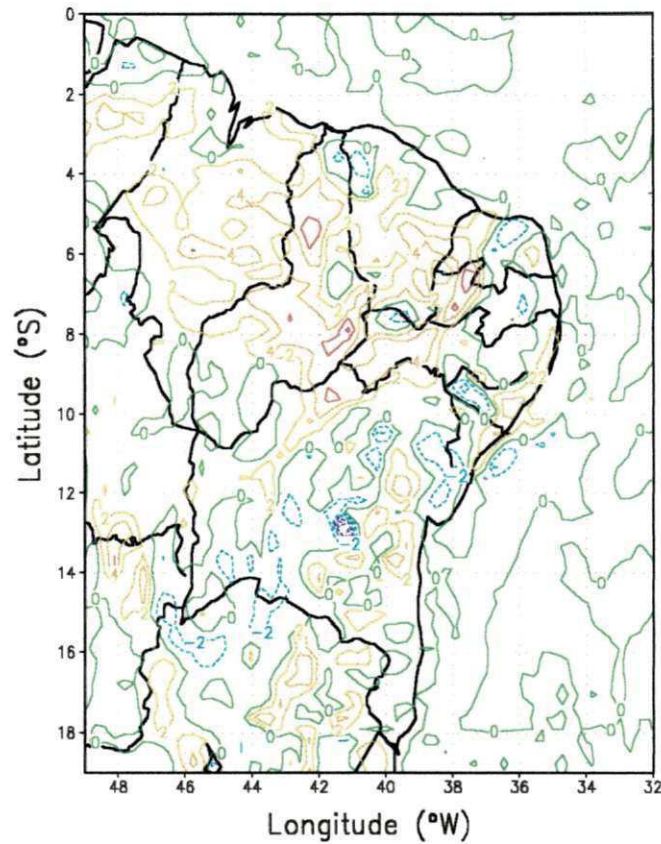


Figura 24 – Distribuição espacial da diferença entre a simulação modificada e a de controle da Precipitação Total Acumulada para Região do NEB para 1986

#### 4.4 Perfis de Temperatura Potencial

Em 1983 para a região Nordeste do Brasil o campo de temperatura potencial apresentou-se com temperaturas mais baixas próximo a superfície elevando-se

em direção aos altos níveis,  $\frac{\partial \theta}{\partial Z} > 0$  atmosfera estável (Figura 25). No decorrer do dia observa-se uma camada limite mais elevada até aproximadamente as 15:00 UTC. Durante o meio dia local (15:00 UTC) a temperatura potencial torna-se constante com a altura transformando a estabilidade da camada em neutralidade. No experimento modificado (Figura 26) a temperatura potencial tende a aumentar em baixos níveis, até aproximadamente 600m, como já era esperado devido à diminuição de cobertura vegetal.

Acima da camada limite, quando os efeitos atmosféricos não sofrem mais a influência da superfície, a atmosfera tende a estar mais fria cerca de 0.1 K, tornando a se mostrar mais quente em níveis mais altos (Figura 26). Isso é resultado da diminuição da intensidade de convecção rasa, como consequência da diminuição da evapotranspiração conforme mostrado por Guedes e Souza (2002). Que devido ao fato dos cumulus rasos não precipitarem, a reevaporação e o desentranhamento causam resfriamento e umedecimento da parte superior das nuvens. Dessa maneira, ocorre um transporte líquido de calor (em  $\text{Kdia}^{-1}$ ) para baixos níveis (Figura 27) na região em que a convecção rasa atua. Na (Figura 28) observa-se que o transporte líquido de calor para baixo diminui na simulação modificada devido a menor taxa de evapotranspiração resultado da diminuição da intensidade de convecção rasa.

Para o ano de 1986 (Figura 29) verificam-se temperaturas mais baixas e conseqüentemente a camada limite é mais rasa em relação a 1983. A simulação modificada (Figura 30) comparada a 1983 sofreu maior impacto, com elevação de temperatura potencial de até 0.2 K.

Na região de Caatinga para 1983 a temperatura potencial permaneceu acima da média para o NEB (Figura 31) e na simulação realizada a partir dos valores do IAF e do  $V_{frac}$  estimados (Figura 32) a temperatura potencial é aumentada de quase meio grau. Esse acréscimo da temperatura potencial ocorre sempre à tarde, após as 15:00 UTC. Em 1986, no experimento modificado as variações na temperatura potencial são mais significativas em baixos níveis (Figura 33).

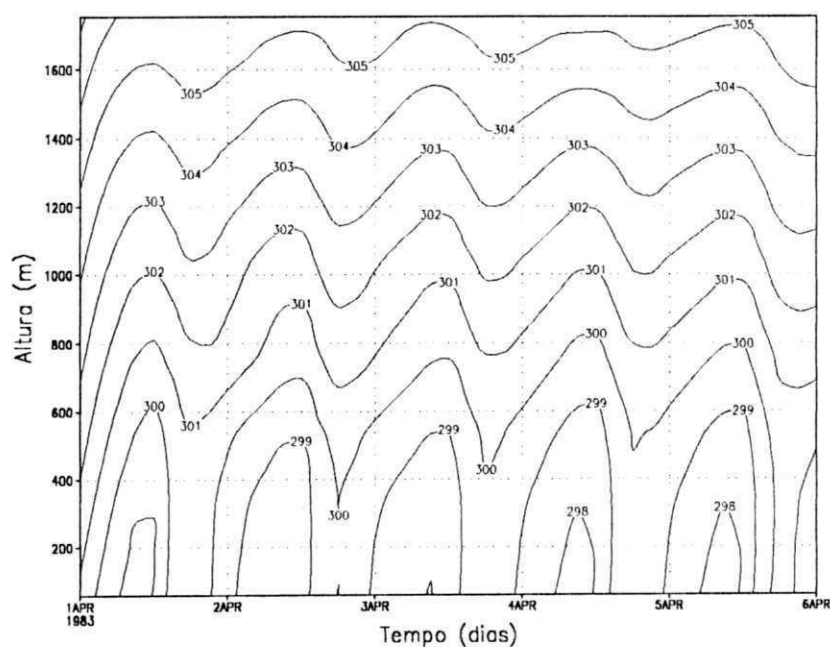


Figura 25 – Perfil da Temperatura Potencial na Camada para a Região do NEB para 1983 (Simulação Modificada)



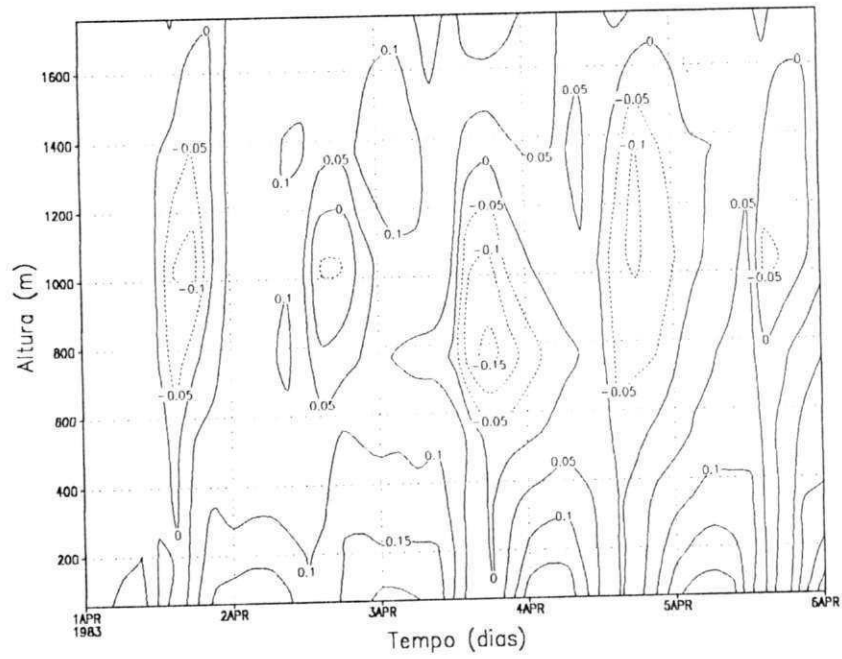


Figura 26 – Diferença entre a simulação modificada e a controle dos Perfis da Temperatura Potencial na Camada para a Região do NEB para 1983

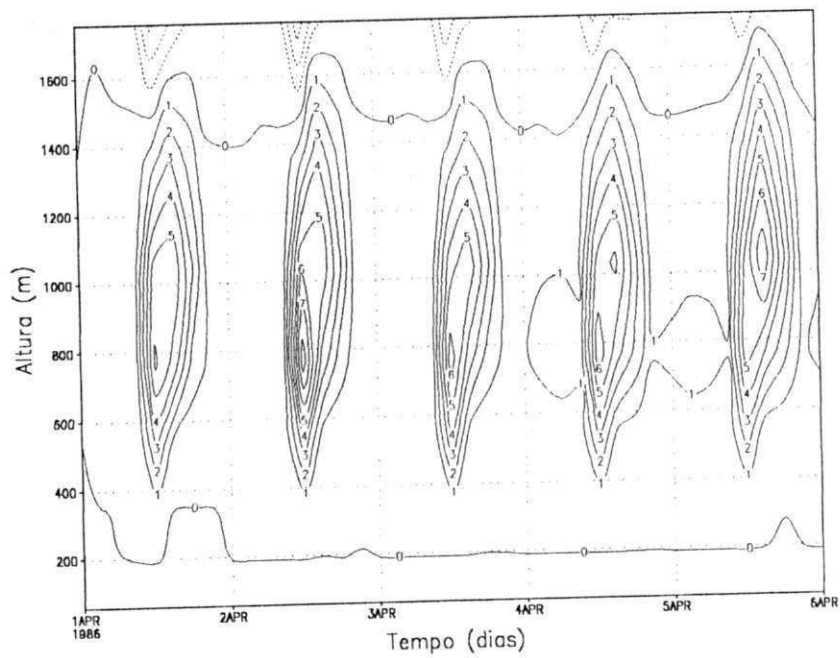


Figura 27 – Taxa de aquecimento devida à convecção rasa

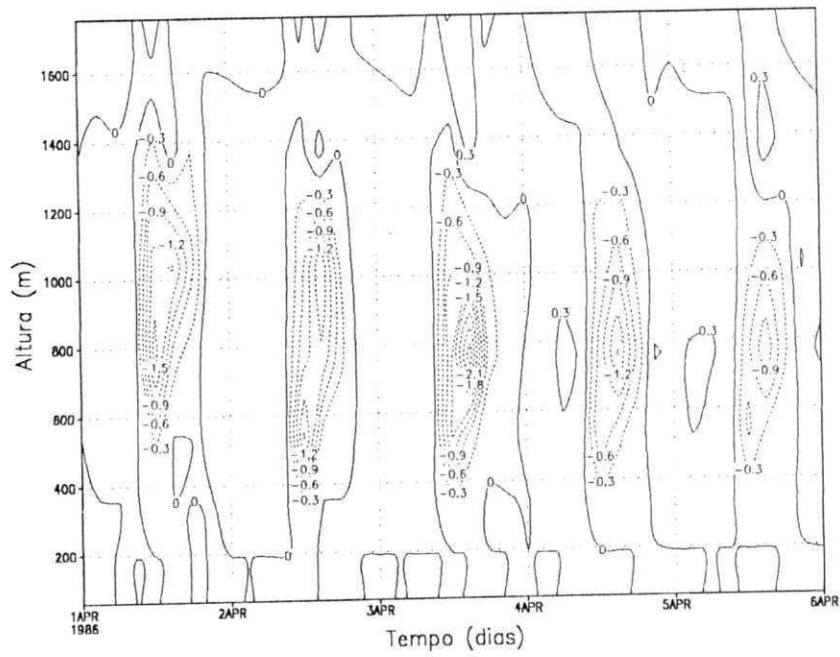


Figura 28 – Diferença da taxa de aquecimento entre a simulação modificada e a controle

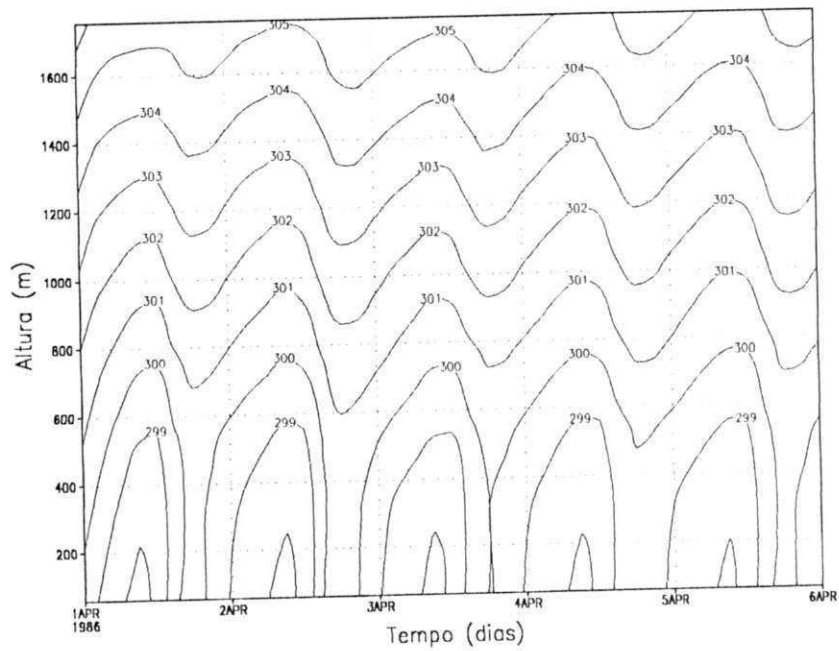


Figura 29 – Perfil da Temperatura Potencial na Camada para a Região do NEB para 1986  
(Simulação Modificada)

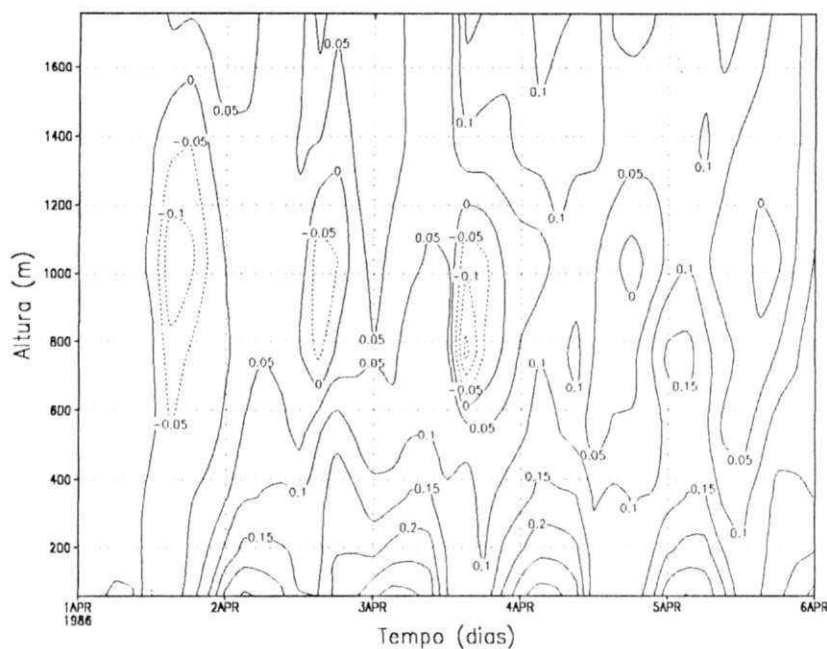


Figura 30 – Diferença entre a simulação modificada e a controle dos Perfis da Temperatura Potencial na Camada para a Região do NEB para 1986

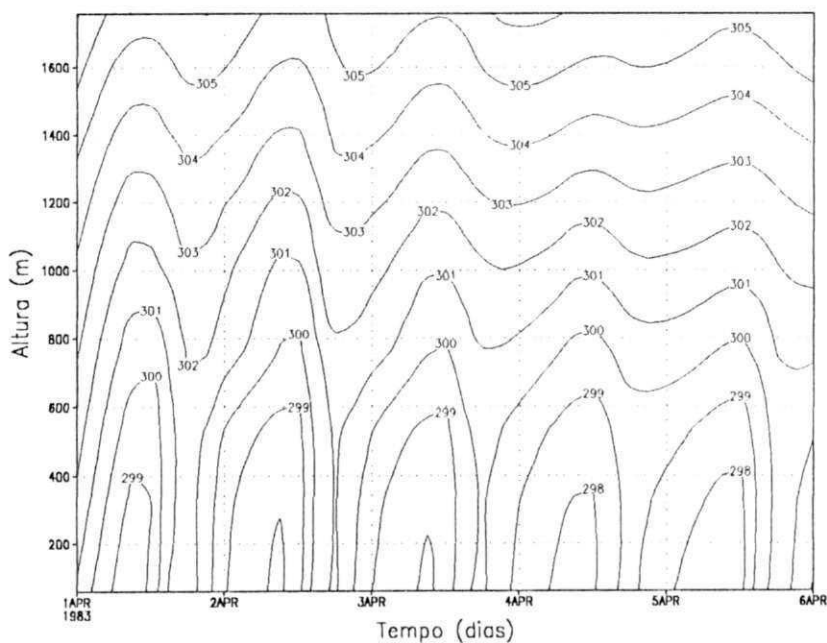


Figura 31 – Perfil da Temperatura Potencial na Camada para a Região de Caatinga no NEB para 1983 (Simulação Modificada)

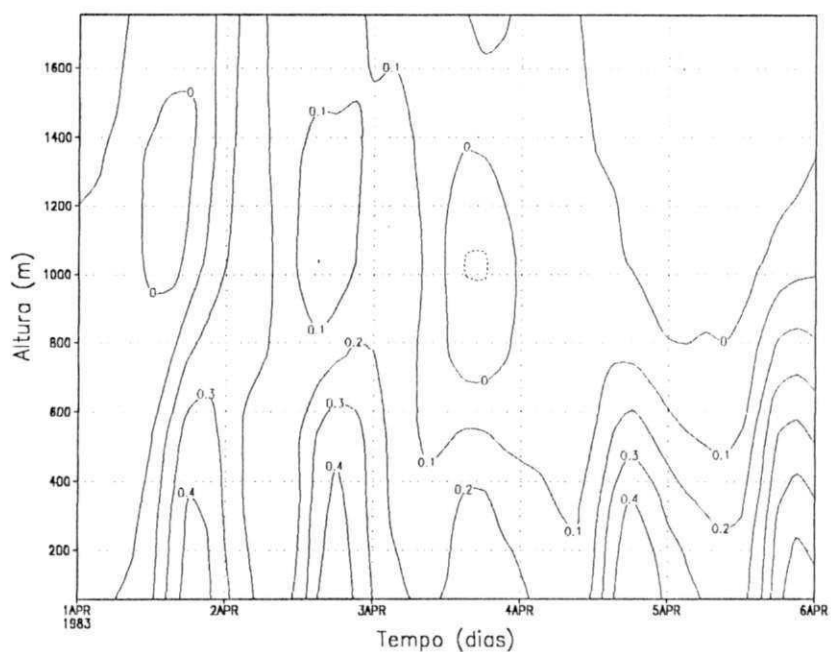


Figura 32 – Diferença entre a simulação modificada e a controle dos Perfis da Temperatura Potencial na Camada para a Região de Caatinga no NEB para 1983

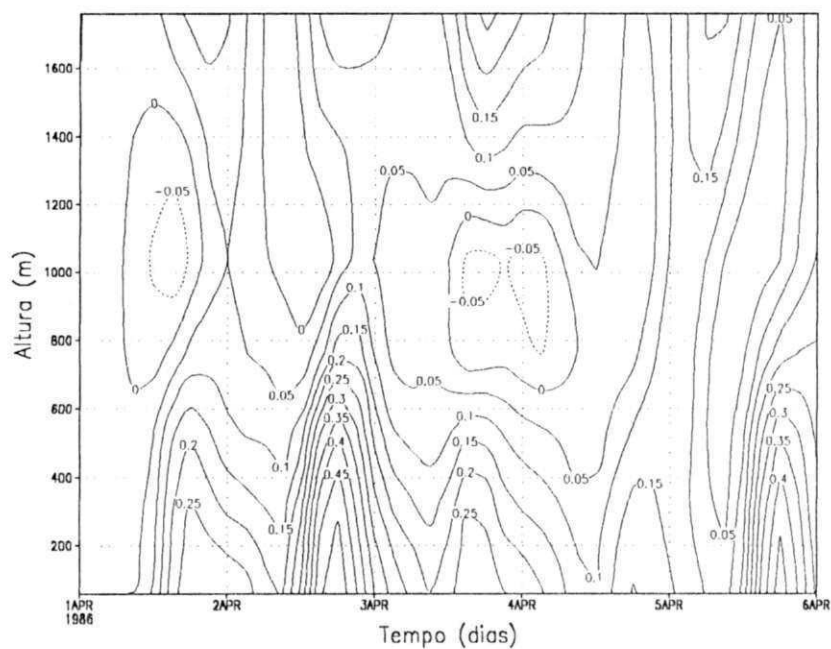


Figura 33 – Diferença entre a simulação modificada e a controle dos Perfis da Temperatura Potencial na Camada para a Região de Caatinga no NEB para 1986

O campo da temperatura potencial para região de floresta (Figura 34), no ano 1983, apresenta-se com temperaturas inferiores comparando-se com a média para toda região em análise. Na simulação modificada (Figura 35) os valores da temperatura potencial apresentam-se mais elevados, comparados à simulação controle. Para 1986 (Figura 36) verificam-se temperaturas inferiores as de 1983 e a simulação modificada mostra-se sem variações significantes (Figura 37).

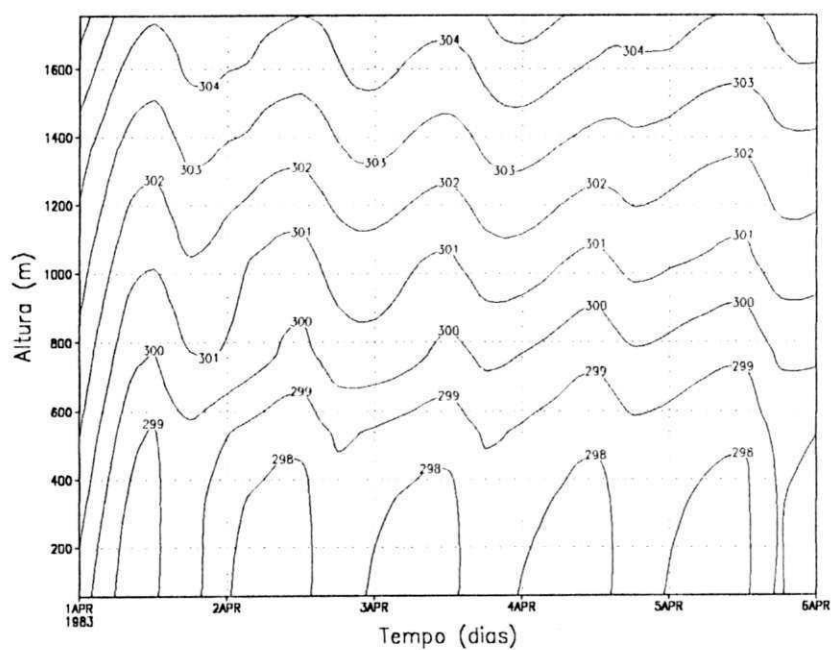


Figura 34 – Perfil da Temperatura Potencial na Camada para a Região de Floresta no NEB para 1983 (Simulação Modificada)

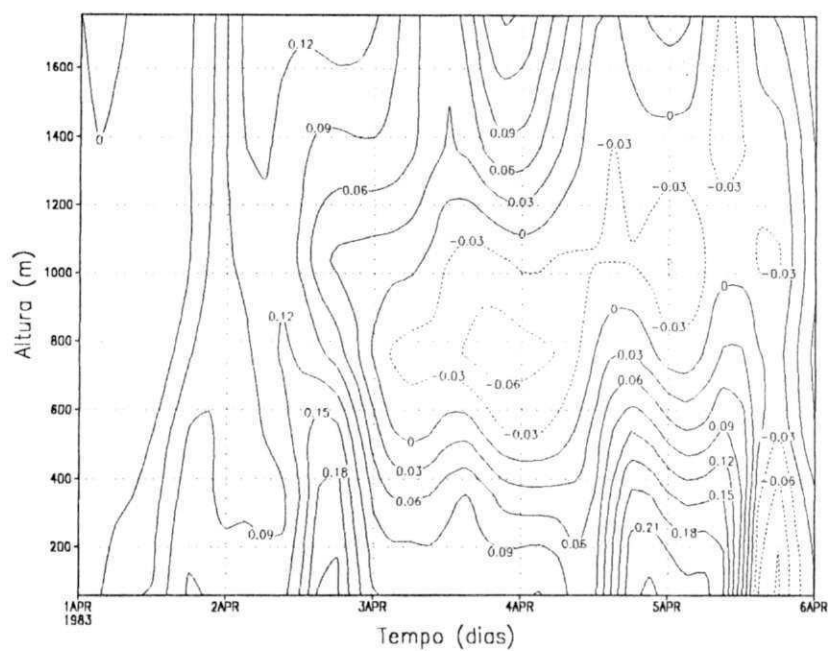


Figura 35 – Diferença entre a simulação modificada e a controle dos Perfis da Temperatura Potencial para a Região de Floresta no NEB para 1983

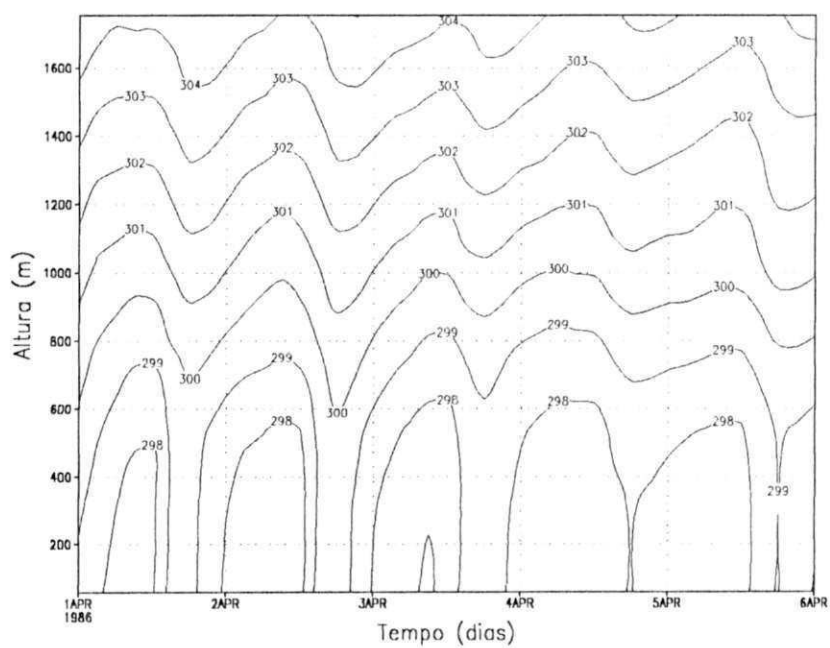


Figura 36 – Perfil da Temperatura Potencial na Camada para a Região de Floresta no NEB para 1986 (Simulação Modificada)

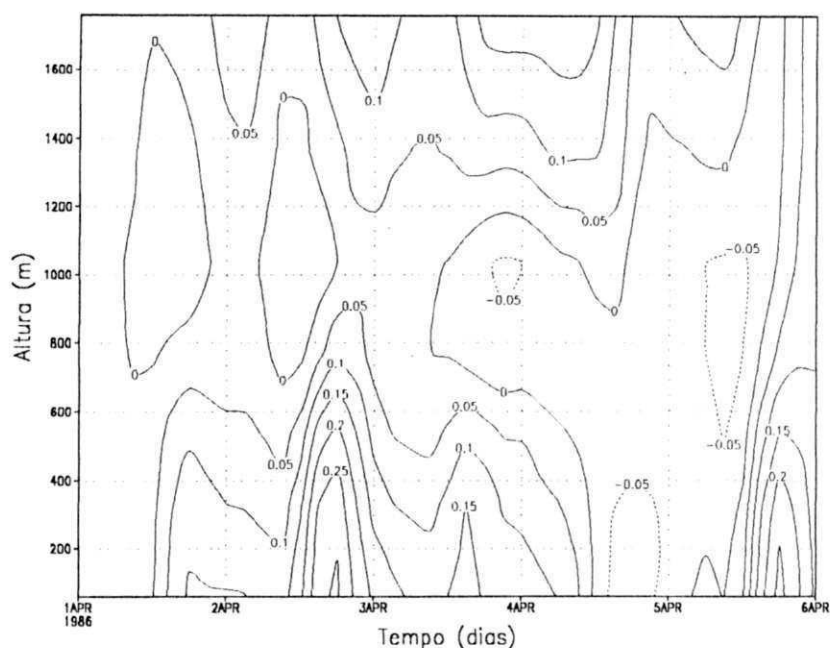


Figura 37 – Diferença entre a simulação modificada e a controle dos Perfis da Temperatura Potencial na Camada para a Região de Floresta no NEB para 1986

#### 4.5 Perfis de Razão de Mistura

Na análise dos campos de razão de mistura observa-se uma diminuição da razão de mistura com a altura, como esperado. A atmosfera mais úmida em baixos níveis torna-se mais seca em altos níveis. Comparando as integrações de 1983 (Figura 38) com 1986 (Figura 42) verifica-se que a razão de mistura é menor no primeiro ano. Na simulação modificada (Figura 39), das 12:00 as 00:00 UTC, a atmosfera torna-se mais seca comparada a simulação controle. A partir do quarto dia de integração para 1983 a atmosfera permanece mais úmida das 00:00 as 12:00 UTC e depois volta a secar. Essa tendência de permanecer mais úmida das 00:00 as 12:00 UTC ocorre para todo o período

de 1986. Isso pode ser devido à tendência, da simulação modificada (Figura 43), de evaporar mais durante a noite e secar mais durante o dia (vide seção 4.2).

Entretanto, a partir dos 600m até 1200m essa tendência se inverte. Essa ocorrência deve-se à reposta do modelo à parametrização de convecção rasa. Segundo Guedes e Souza (2002), a convecção rasa retira umidade da camada limite transportando-a para a média troposfera. A Figura 40 mostra a taxa de umedecimento devida à convecção rasa, em  $\text{gkg}^{-1}\text{dia}^{-1}$ .

A Figura 41 sugere que a modificação dos parâmetros de vegetação ocasionou uma diminuição da taxa do transporte de umidade para média troposfera. Isso ocorre porque na simulação modificada tem-se menor evaporação, devido à subtração de cobertura vegetal diminuindo a taxa de evapotranspiração e como consequência a convecção rasa é menos atuante.

No caso da Caatinga para 1983 (Figura 44) observa-se que na camada de mistura a razão de mistura é menor entre as 12:00 e 18:00 UTC durante todo período de simulação. Como era esperado para Caatinga, vegetação esparsa, os valores de razão de mistura são inferiores com relação à região Nordeste. Na simulação modificada a razão de mistura é menor (Figura 45). Para 1986 a razão de mistura é maior em todo período comparando-se a 1983 (Figura 46). Na simulação modificada (Figura 47) a tendência da razão de mistura é ser diminuída, tendo em vista a diminuição de cobertura vegetal.



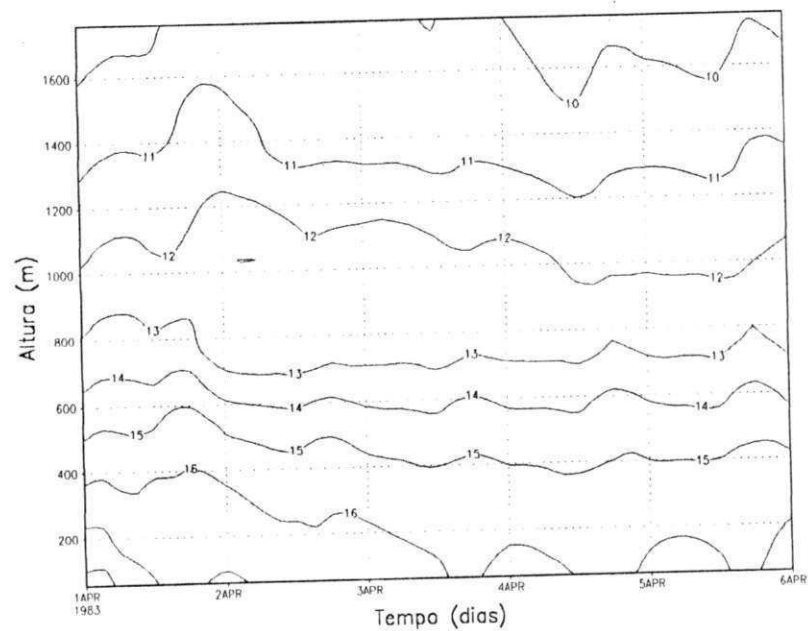


Figura 38 – Perfil da Razão de Mistura com a altura o NEB para 1983

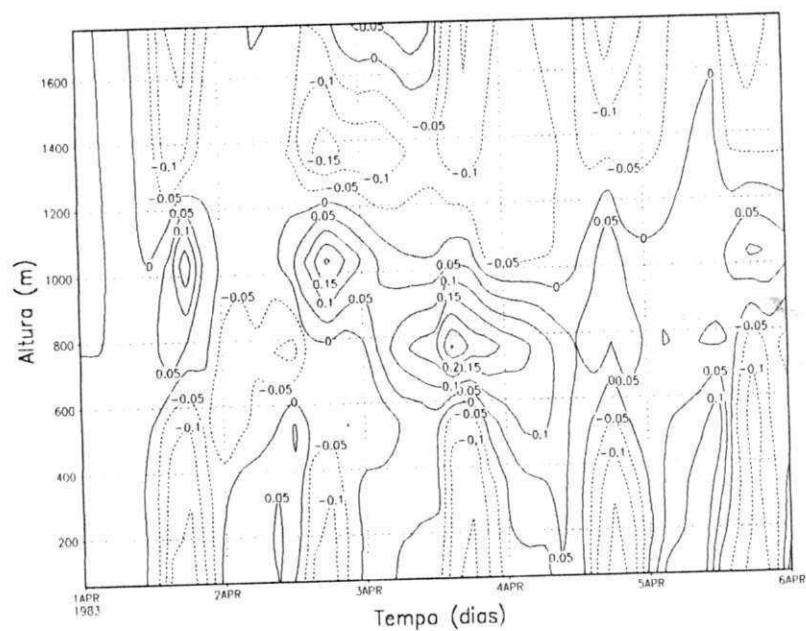


Figura 39 – Diferença entre a simulação modificada e a controle dos Perfis de Razão de Mistura na Camada para a Região do NEB para 1983

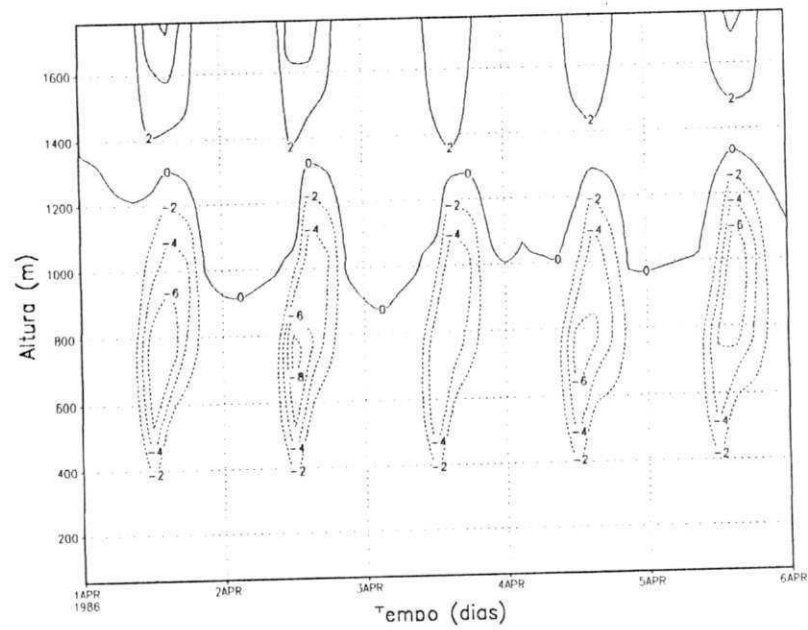


Figura 40 – Taxa de umedecimento devida à convecção rasa

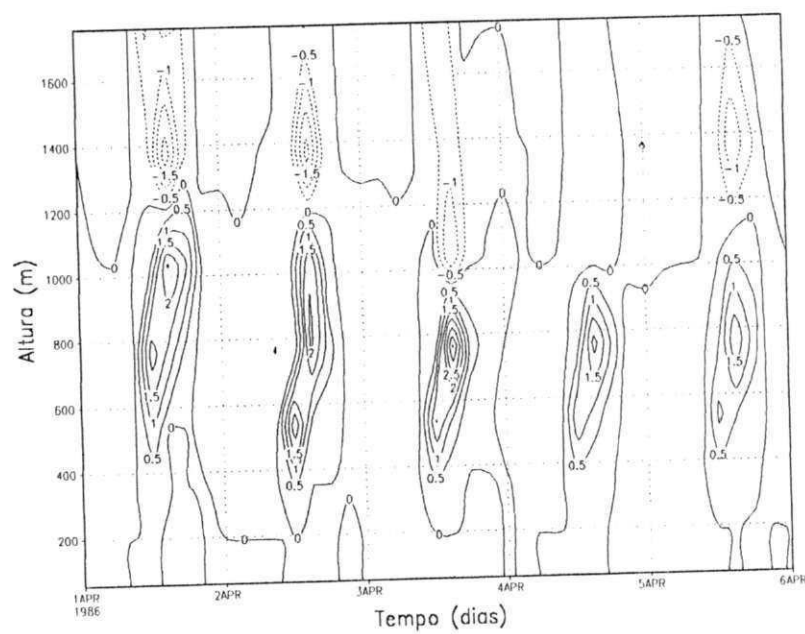


Figura 41 – Diferença da taxa de umedecimento devida a convecção rasa entre a simulação modificada e a controle

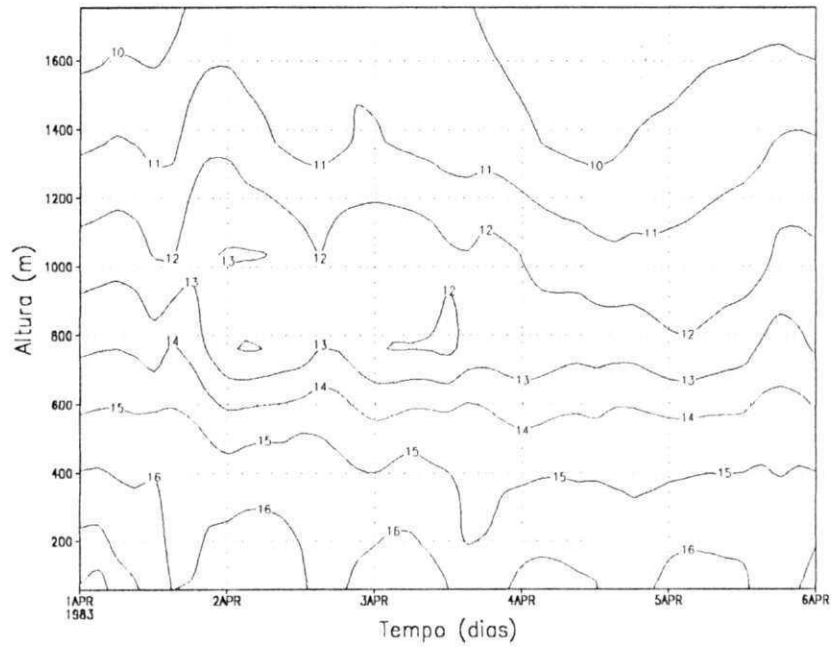


Figura 44 – Perfil da Razão de Mistura com a altura para a Região de Caatinga no NEB para 1983 (Simulação Modificada)

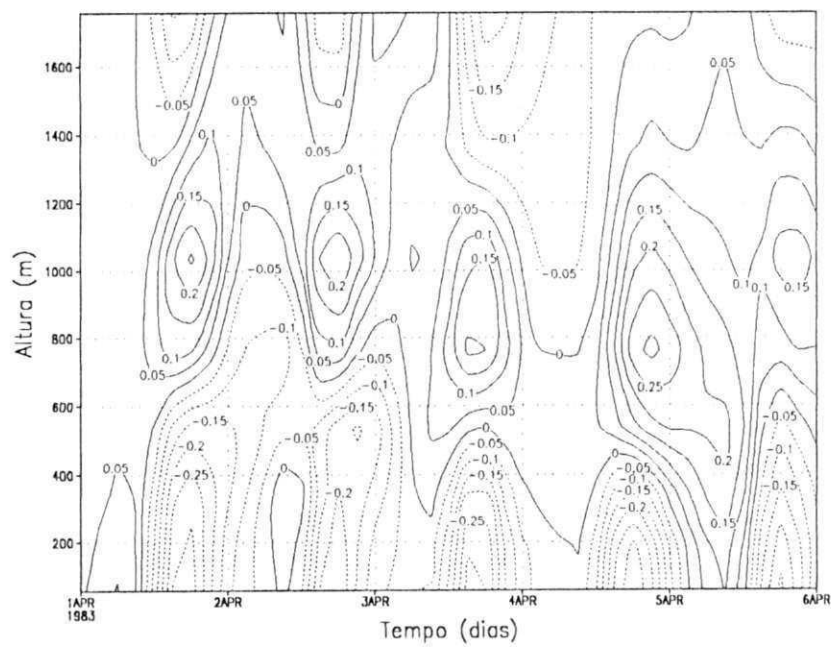


Figura 45 – Diferença entre a simulação modificada e a controle dos Perfis de Razão de Mistura na Camada para a Região de Caatinga no NEB para 1983

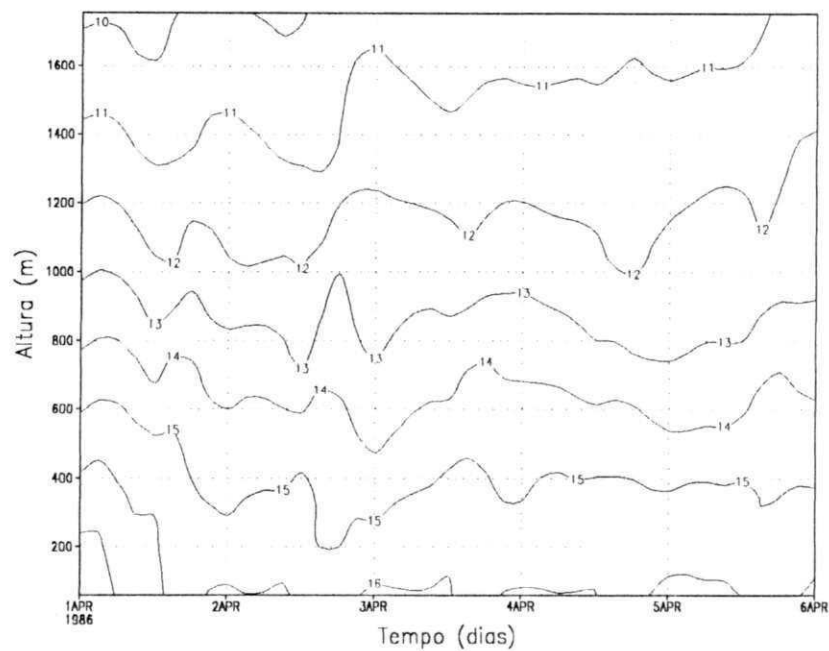


Figura 46 – Perfil da Razão de Mistura com a altura para a Região de Caatinga no NEB para 1986 (Simulação Modificada)

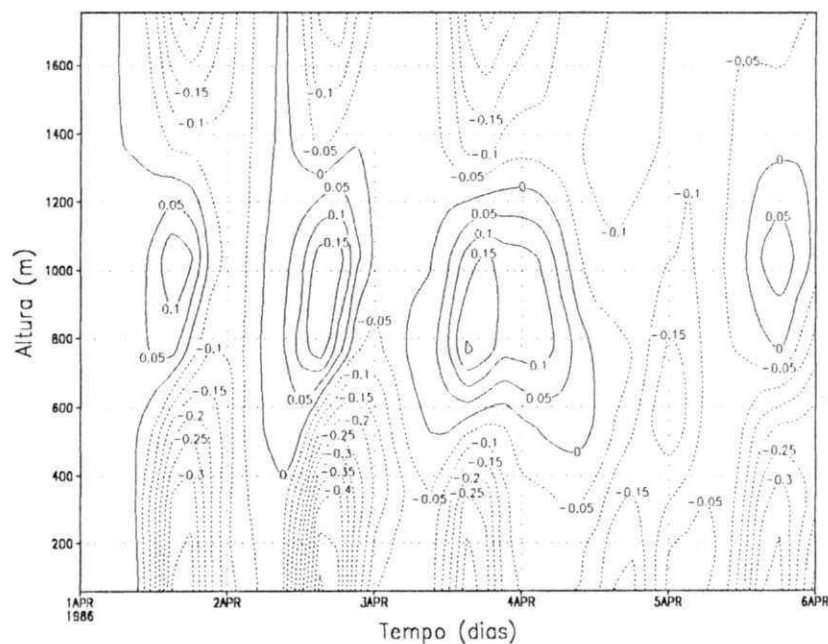


Figura 47 – Diferença entre a simulação modificada e a controle dos Perfis de Razão de Mistura na Camada para a Caatinga no NEB para 1986

Para a floresta na simulação de 1983 a razão de mistura é maior próximo a superfície comparada a 1986 (Figura 48). O inverso ocorre para os demais níveis. Nos anos secos evapora menos por causa do déficit hídrico. Para anos chuvosos, por exemplo, 1986 há mais água disponível para evaporação aumentando o teor de umidade até níveis mais altos. Na simulação modificada para 1983 a atmosfera tende a secar (Figura 49). Em 1986 a tendência de tornar a atmosfera mais seca é maior que em 1983 (Figura 50).

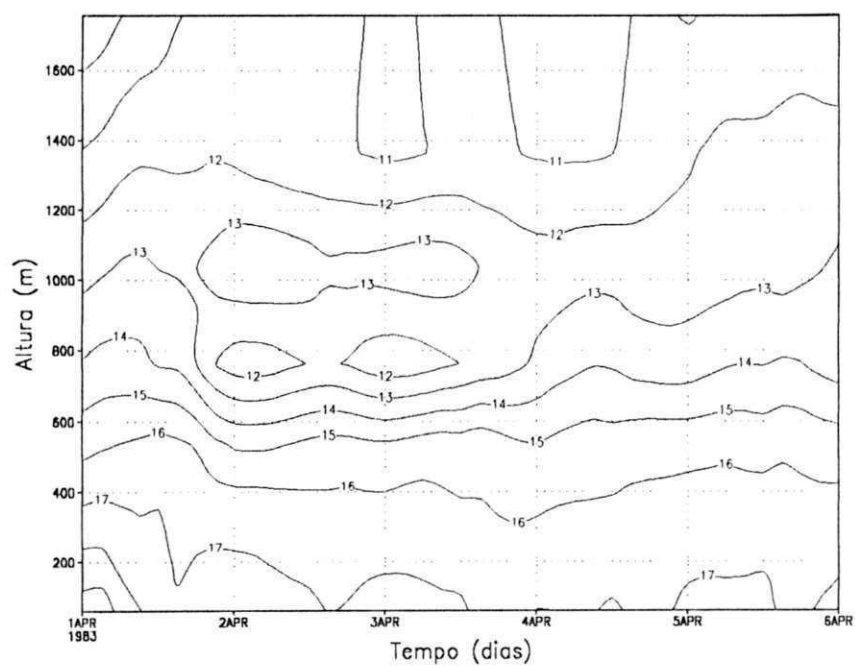


Figura 48 – Perfil da Razão de Mistura com altura para Floresta no NEB em 1983 (Simulação Modificada)

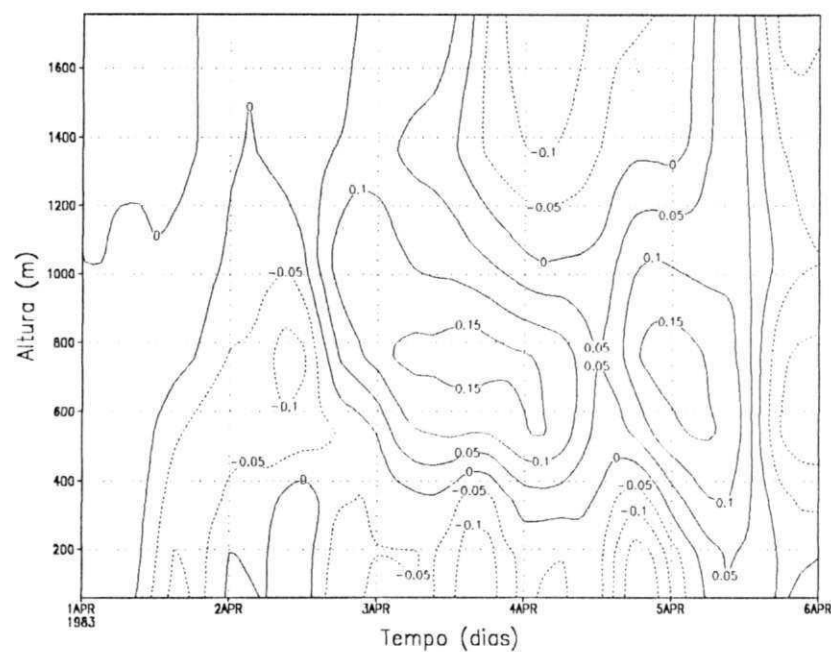


Figura 49 – Diferença entre a simulação modificada e a controle dos Perfis de Razão de Mistura na Camada para a Floresta no NEB para 1983

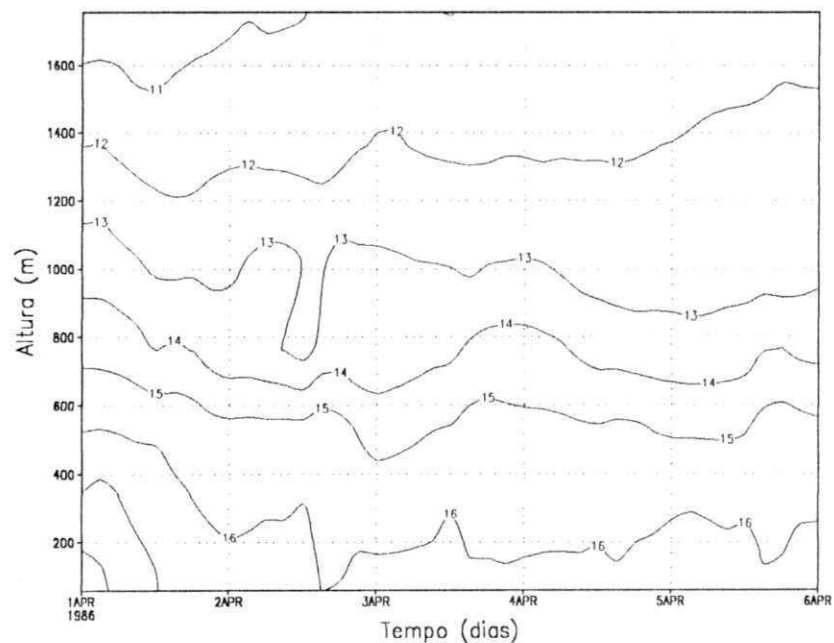


Figura 50 – Perfil da Razão de Mistura com a altura para a Região de Floresta no NEB para 1986 (Simulação Modificada)

#### 4.6 Radiação de Onda Longa e Onda Curta

Os campos de radiação de onda curta foram os únicos que permaneceram sem variações significativas com a mudança dos parâmetros da vegetação, como sugerem os campos de radiação para 1983 (Figura 51) e 1986 (Figura 52). No entanto, a radiação de onda longa que sai da superfície aumentou um pouco na simulação modificada.

Com a modificação dos parâmetros da vegetação houve uma diminuição da cobertura vegetal, conseqüentemente a temperatura do solo e adjacências elevam-se (Vide seção 4.1) e a radiação emergente ( $\epsilon\sigma T^4$ ) que é proporcional a temperatura aumenta contribuindo para o crescimento da taxa de radiação de ondas longas emergente da superfície (Figuras 53 e 54).

As figuras 53 e 54 sugerem que as maiores taxas de radiação de ondas longas emergente da superfície encontram-se no ano chuvoso de 1986. Todavia as maiores variações ocorrem no mesmo ano. Deve ser lembrado que a simulação para 1986 está produzindo evapotranspiração inferior a 1983, devido a um menor IAF (Tabela 4). Como a temperatura potencial próximo à superfície esteve maior em 1986 (em relação ao controle), é natural que o impacto na emissão de radiação de ondas longas seja maior.

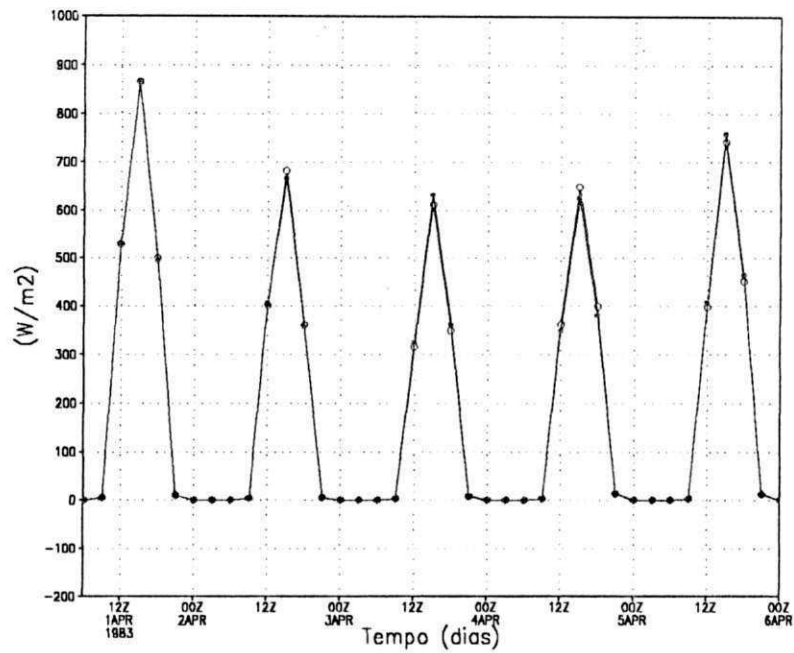


Figura 51 – Ciclo Médio da Radiação de Onda Curta (círculos vazios – simulação modificada e círculos preenchidos - simulação controle) para a Região do NEB em 1983

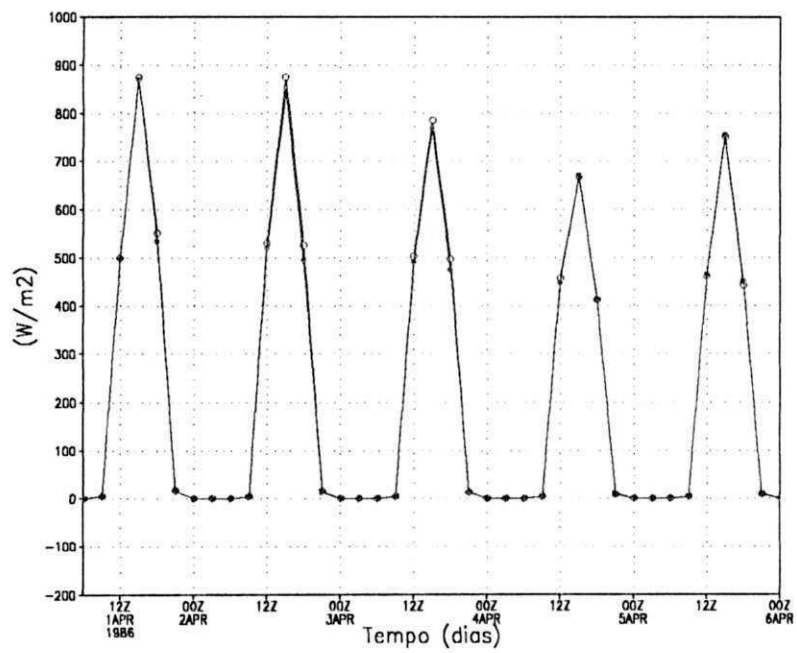


Figura 52 – Ciclo Médio da Radiação de Onda Curta (círculos vazios – simulação modificada e círculos preenchidos - simulação controle) para a Região do NEB em 1986



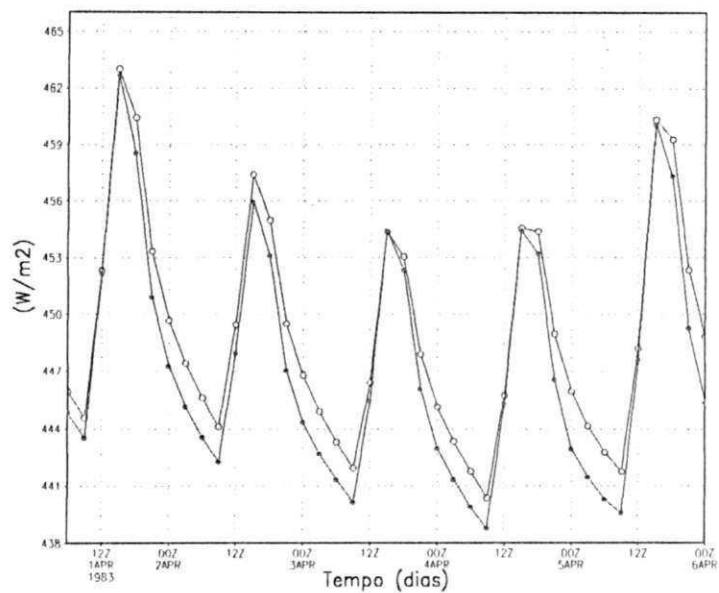


Figura 53 – Ciclo Médio da Radiação de Onda Longa Emergente da Superfície da Terra (círculos vazios – simulação modificada e círculos preenchidos - simulação controle) para a Região do NEB em 1983

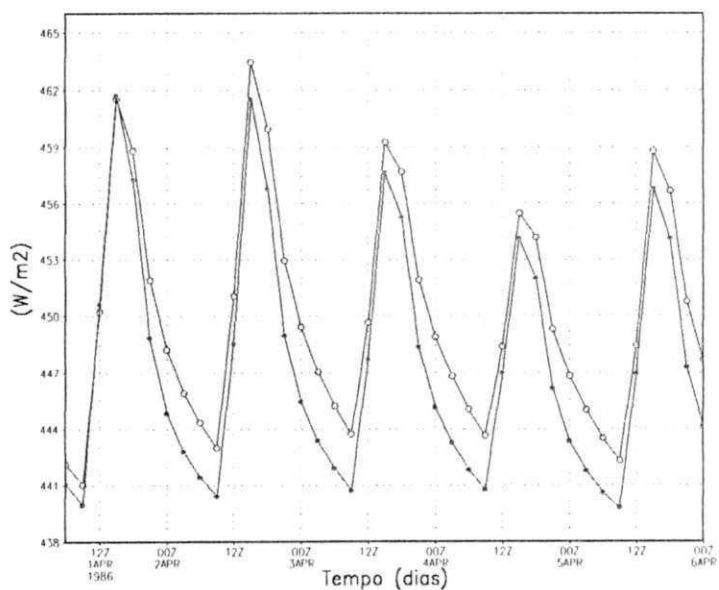


Figura 54 – Ciclo Médio da Radiação de Onda Longa Emergente da Superfície da Terra (círculos vazios – simulação modificada e círculos preenchidos - simulação controle) para a Região do NEB em 1986

A substituição dos parâmetros de cobertura vegetal do modelo regional RAMS por parâmetros estimados, a partir do índice de vegetação por diferença normalizada, teve o intuito de tornar mais realística a representação da cobertura vegetal no modelo e com isso obter uma melhoria das simulações.

Os dados originais de vegetação do RAMS são baseados em coberturas vegetais maiores e com maior área de folhas do que as típicas do Nordeste do Brasil.

A modificação dos parâmetros de cobertura vegetal afetou diretamente os fluxos de superfície, a precipitação e o balanço de radiação do modelo regional RAMS. Isso sugere que com a versatilidade do código numérico utilizado no modelo regional pode-se ainda melhorar muito a qualidade das integrações numéricas.

A modificação dos fluxos ocorreu de forma previsível. Com a diminuição da cobertura de vegetação e do índice de área foliar, seria de se esperar que a partição dos fluxos em superfície variasse de forma a produzir maior fluxo de calor sensível do que de calor latente.

Um ponto interessante da diferença do fluxo de calor latente é que, com a modificação este fluxo passou a ficar maior na parte da tarde em relação ao controle.

O impacto na região da camada limite turbulenta também concordou com o de superfície. O efeito foi de deixar a camada mais quente e seca, ou seja, mais vigorosa do ponto de vista térmico.

Um dos aspectos mais interessantes dentre todos os impactos foi o aumento da precipitação que ocorreu. Provavelmente o vigor térmico resultante da diminuição do IAF e da Vfrac tenha compensado a diminuição da evapotranspiração local. Isso está de acordo com os resultados de Souza *et al* (2001) que mostraram que a relação entre a precipitação e a evapotranspiração é altamente não linear.

## **5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES**

### **5.1 Conclusões**

Com base nos resultados obtidos a partir das simulações realizadas pelo modelo regional RAMS, com intuito de estudar a influência da cobertura vegetal sobre os fluxos de superfície para a Região Nordeste do Brasil, no período de 01 a 05 de abril dos anos de 1983 (seco) e 1986 (chuvoso), conclui-se:

A substituição dos parâmetros de cobertura vegetal por parâmetros estimados a partir de dados do IVDN resultou em modificações significantes sobre os fluxos de calor sensível e latente. Principalmente, tratando-se de regiões com cobertura vegetal homogênea, na qual verificam-se maiores impactos. Isso foi mais evidente para cobertura do tipo Caatinga na qual a variação do fluxo chega próximo de 50% com a modificação dos parâmetros de cobertura.

Em média o fluxo de calor sensível aumenta, com a modificação dos parâmetros da vegetação. Isso porque com o solo mais exposto as temperaturas da

superfície e do ar adjacente se elevam, aumentando o gradiente de temperatura próximo a superfície e como consequência tem-se uma camada de mistura mais vigorosa.

A diminuição do efeito da vegetação, resultado da diminuição do índice de área foliar e da fração de cobertura vegetada, ocasiona um decréscimo da taxa de evapotranspiração. Na simulação modificada a evapotranspiração tende a ser menor nas primeiras horas do dia, aumentando no fim da tarde. Verifica-se que a tendência da superfície em evaporar no primeiro dia de simulação é maior, devido ao processo de ajuste do modelo.

A média temporal da precipitação convectiva acumulada aumentou cerca de 10% na simulação modificada, indicando que as modificações na quantidade de cobertura vegetal favoreceram de algum modo a precipitação. Entretanto, a contribuição da precipitação da microfísica é bem menor comparada a precipitação convectiva. Isso era esperado já que a escala horizontal utilizada não era propícia (Bezerra, 2002) e o período em análise é convectivo.

Os campos de temperatura potencial e razão de mistura apresentaram-se pouco variante na simulação modificada. De modo geral, a camada superficial apresenta-se mais quente e seca com o modelo modificado. Já os de onda longa não apresentaram variações significativas. No entanto a radiação de ondas longas emergente da superfície aumentou na simulação modificada, devido a maior porção de solo exposto e menor evapotranspiração.

## 5.2 Sugestões

Algumas sugestões para possíveis trabalhos futuros, no que diz respeito ao modelo de vegetação, com o intuito de melhorar a qualidade das simulações numéricas no modelo regional de previsão de tempo e clima, são:

De posse de dados do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada e dados do canal termal do satélite NOAA estimar os seguintes parâmetros: albedo, emissividade, fração de vegetação, índice de área foliar. Produzir mapas de vegetação a partir desses parâmetros e incorporá-los no modelo regional a fim de fazer uma atribuição real da vegetação e conseqüentemente obter previsões de tempo e clima mais precisas.

Verificar o efeito da variação da cobertura vegetal na formação de nuvens convectivas de modo a entender melhor o aumento da precipitação do modelo.

Comparar os resultados das simulações com os dados observacionais de fluxos e precipitação de modo a produzir um melhor ajuste no modelo.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

ALMEIDA, S. A. O. **Determinação de redução de umidade superficial na região dos cerrados com imagens AVHRR/NOAA e precipitação pluviométrica.** 1997. 316p. Tese (Doutorado em Ecologia) - Universidade de Brasília, Brasília, 1997.

BARBOSA, A.H. **Análise espaço-temporal de índice de vegetação normalizado AVHRR / NOAA e precipitação na região nordeste de Brasil em 1982-1985.** 1998. 163p. Dissertação (Mestrado) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1998.

BATISTA, G.T; SHIMABUKURO, Y.E e LARENCE, W. T. Monitoramento da cobertura florestal através de índice de vegetação do NOAA-AVHRR. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 7 . Curitiba, 1993. **Anais**, v2. 30-37, 1993.

BEZERRA, P. C. **Efeito da Resolução Horizontal na Simulação de um Evento Chuvoso Extremo.** 2002. 67p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, 2002.

BETTS, A. K., BALL, J. H., BELJAARS, A. C. M. e VITERBO, P. A. The Land Surface-Atmosphere Interaction: A Review Based on Observational and Global Modeling Perspectives. **Journal of Geophysical Research**. 101, no.D3, 7209-7225. 1996.

BRAGA, C.C. **Inter-relações entre Padrões de Índices de Vegetação e de Pluviometria no Nordeste do Brasil**. Campina Grande, CDRN/CCT/UFPB. 2000. 129p. Tese (Doutorado em Recursos Naturais) – Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, 2000.

CAVALCANTI, E. P. **Teor e Transporte de Vapor D'Água na Atmosfera do Nordeste do Brasil**. Campina Grande, CDRN/CCT/UFPB. 2001. 115p. Tese (Doutorado em Recursos Naturais) – Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, 2001.

CHEN, F. e AVISSAR, R. Impact of Land-Surface Moisture Variability on Local Shallow Convective Cumulus and Precipitation in Large-Scale Models. **Journal of Applied Meteorology**. 33, 1382-1401. 1994.

CHEN, F.; COTTON, W. R. A. A one-dimensional Simulation of the Stratocumulus Capped Mixed Layer. **Boundary Layer Meteorological**. 25, 289 – 321. 1983.

CORREIA, M.F. Impacto das Ações Antrópicas no Clima do Submédio do Rio São Francisco: Um Estudo Numérico e Observacional. 2001. Tese (Doutorado em Meteorologia) - IAG-USP, São Paulo, 2001.



FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE).  
ATLAS REGIONAL DO BRASIL – REGIÃO NORDESTE. Rio de Janeiro. IV-3. 1985.

GARRATT, J. R. The Atmospheric Boundary Layer. Cambridge University Press.  
Australia. 316p. 1992

GUEDES, M. J. F. e SOUZA, E. P. Análise da Sensibilidade do RAMS à umidade do Solo  
em Termos da Interação entre Convecção Rasa e Convecção Profunda. XII Congresso  
Brasileiro de Meteorologia. **Anais**. Foz do Iguaçu, 2002.

GUTMAN, G. G. Vegetation Indices from AVHRR: Update and Future Prospects.  
**Remote Sensing Environmet**. 35, 121-136.1991.

GUTMAN, G.; IGNATOV, A. The derivation of the green vegetation fraction from  
NOAA/AVHRR data for use in numerical weather prediction models. **Int. J. Remote  
Sensing**. 19, no.8, 1533-1543. 1998.

HA, K.; OH, H. e KIM, K. Inter – Annual and Intra – Annual Variabilities of NDVI, LAI  
and Ts Estimated by AVHRR in Korea. **Korea Journal of Remote Sensing**. 2, 111 – 119.  
2001.

HUETE,A.R.; LIU, H.Q.; BATCHILY, K. and van LEEUWEN. A comparison of  
vegetation indice over a global set of TM images for EOS-MODIS. **Remote Sensing  
Environmet**. 59, 440-451. 1997.

KALNAY, E.; KANAMITSU, M.; KISTLER, R.; et al. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project. *Bulletin of the American Meteorological Society*. AMS, Boston, USA. 77, 3, 437-471. 1996.

KOUSKY, V. E. e GAN, M. A. Upper Tropospheric Cyclonic Vortices in the Tropical South Atlantic. *Tellus*. 33, 538-551. 1981.

KOUSKY, V. E. Frontal Influences on Northeast Brazil. *Monthly Weather Review*. 107, 1140-1153. 1979.

KUO, H.L. Further studies of the parameterization of the influence of cumulus convection on large-scale flow. *Journal of the Atmospheric Sciences*. AMS, Boston, USA. 31, 1232-1240. 1974.

LACAVAL, C. I. V. **Influência de Zonas de Convergência na Organização na Convecção Tropical Sobre o Nordeste do Brasil**. 1995. 117p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, 1995.

LIU, W.T. H., MASSAMBANI, O. e NOBRE, C. Satellite Recorded Vegetation Response to Drought in Brazil. *International Journal of Climatology*. 14, 343-354. 1994.

MATSUSHITA, B., TAMURA, M. Integrating Remotely Sensed Data with an Ecosystem Model to Estimate Net Primary Productivity in East Asia. *Remote Sensing of Environment*. 81, 58 – 66. 2002.

McCUMBER, M. C., PIELKE, R. A. Simulation of the Effects of Surface Fluxes on Heat and Moisture in a Mesoscale Numerical Model. **Journal of Geophysical Research**. Washington, USA. 86, 10, 9929 – 9938. 1981.

MELLOR, G. L.; YAMADA, T. Development of a turbulence closure Model Geophysical Fluid Problems. **Rev. Geophysic Space Physics**. 20, 851 – 857. 1982

MORROW, N. e FRIEDL, M. A. Modeling Biophysical Controls on Land Surface Temperature and Refletance in Graslands. **Agricultural and Forest Meteorology**. 92, 147–161. 1998.

MOLINARI, J.; CORSETTI, T. Incorporation of cloud-scale and mesoscale downdrafts into a cululus parameterization: results of one- and three-dimensional integrations. **Monthly Weather Review**. AMS, Boston, USA. 113, 485-501. 1985.

MYNENI, R. B.; NEMANI, R. R. e RUNNING, S. W. Estimation of Global Leaf Area Index and Absorbed Par Using Radiative Transfer Models. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**. 35, no.6,1380-1393. 1997.

NICHOLSON, S.E and FARRAR, T.J. The Influence of Soil Type or the Relationships Between IVDN, Rainfall and Soil Moisture in Semiarid Bostswana. **Remote Sensing Environmet**. 50, 107-120.1994

PARKINSON, C. L. “Earth from above”. **University Sciences Books, Sansalito**. Land vegetation. 107-111, 1997.

PIELKE, R. A. Meso-scale Meteorological Modeling. **Academic Press**. New York. 612p. 1974.

PIELKE, R. A.; COTTON, W., R.; WALKO, R. L., *et al.* A Comprehensive Meteorological Modeling System – RAMS. **Meteorology and Atmospheric Physics**. Austria. 49, 69-91. 1992.

PRESTE, A. C. A. **Um Estudo da Relação entre Precipitação, Evaporação e Advecção de Umidade no Nordeste Brasileiro**. 2001. 70p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, 2001.

RABIN, R. M.; STADLER, S.; WETZEL, P. J.; STENSRUD, D. J.; GREGORY, M. Observed Effects of Landscape Variability on Convective Clouds. **American Meteorological Society**. 71, no.3, 272-280. 1990.

RABIN, R. M.; MARTIN, D. W. Satellite Observations of Shallow Cumulus Coverage over the Central United States: An Exploration of Land use Impact on Cloud Cover. **Journal of Geophysical Research**. 101, no D3, 7149 - 7155. 1996

SOUZA, E.P. **Estudo Teórico e Numérico de Relação entre Convecção e Superfícies Heterogêneas na Região Amazônica**. 1999. 121 p. Tese (Doutorado em Meteorologia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

SOUZA, E. P; RAO, T. V. R e PRESTE, A.C.A. Contribuição dos Efeitos Locais e Advectivos para a Precipitação no Nordeste do Brasil em Dois Períodos Chuvosos Contrastantes. **Revista Brasileira de Meteorologia**. v16, n2, p 135 – 143. 2001

TREMBACK, C. J. and KESSLER, R. A Surface Temperature and Moisture Parametrization for use in Mesoscale Numerical Model. Preprints, 7<sup>th</sup> AMS Conference on Numerical Weather Prediction, June 17-20. Montreal, Quebec, Canada. American meteorological Society, Boston, 355-358, 1985.

TRIPOLI, G. J., COTTON, W. R. The Colorado State University three-dimensional Cloud Meso-scale Model – 1982. Part I: General Theoretical Framework and Sensitivity Experiments. *Journal de Recherches Atmosphériques*. 16, 185-219. 1982.

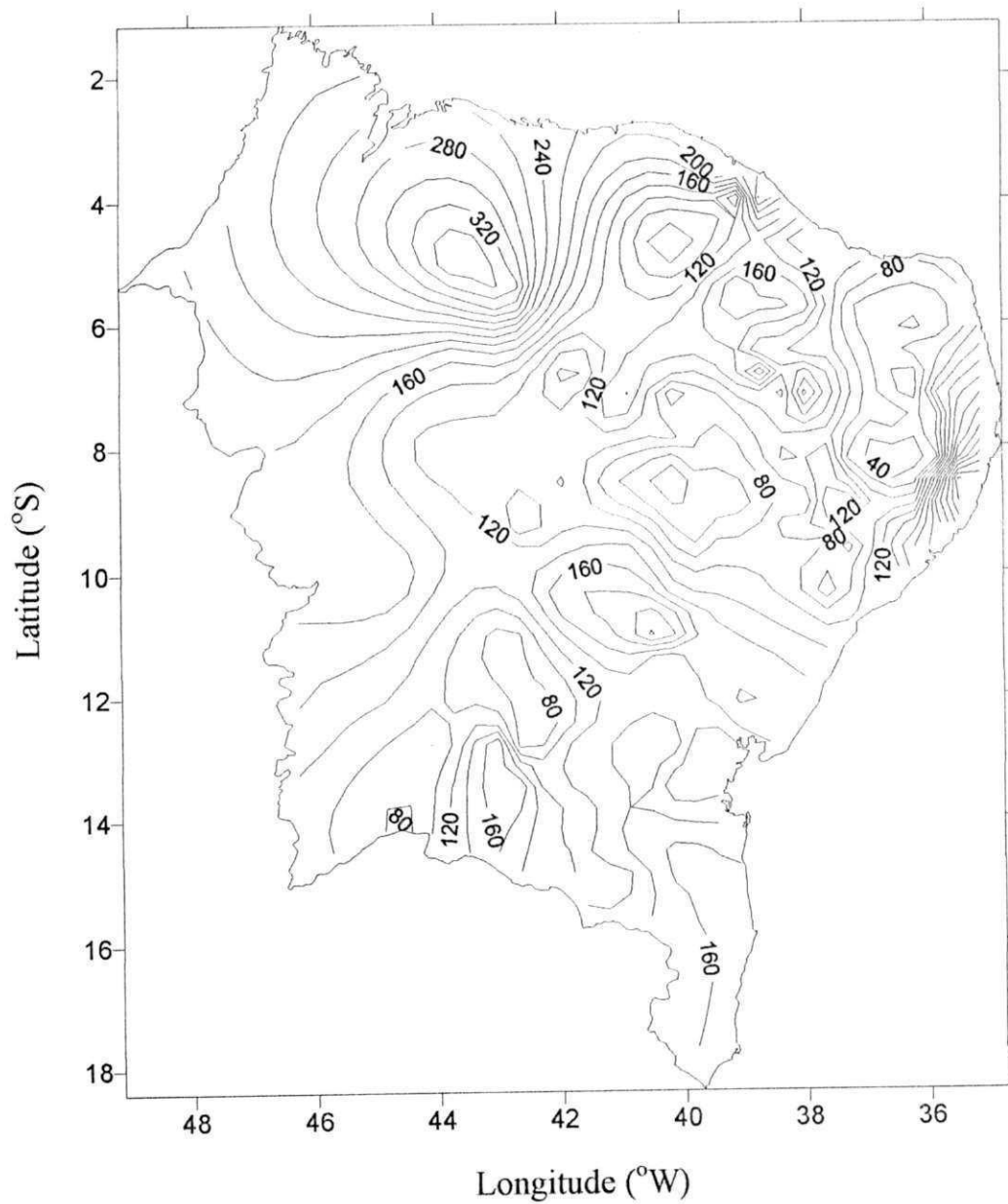
UVO, C. R. B. A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e sua relação com a precipitação na região norte do Nordeste Brasileiro. 1989. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – INPE-4887-TDL/378. 1989.

WALKO, R. L, *et al.* New Rams Cloud Microphysics Parameterization .1. the Single-Moment Scheme. *Atmospheric Research*. 38 (1-4), 29-62. 1995.

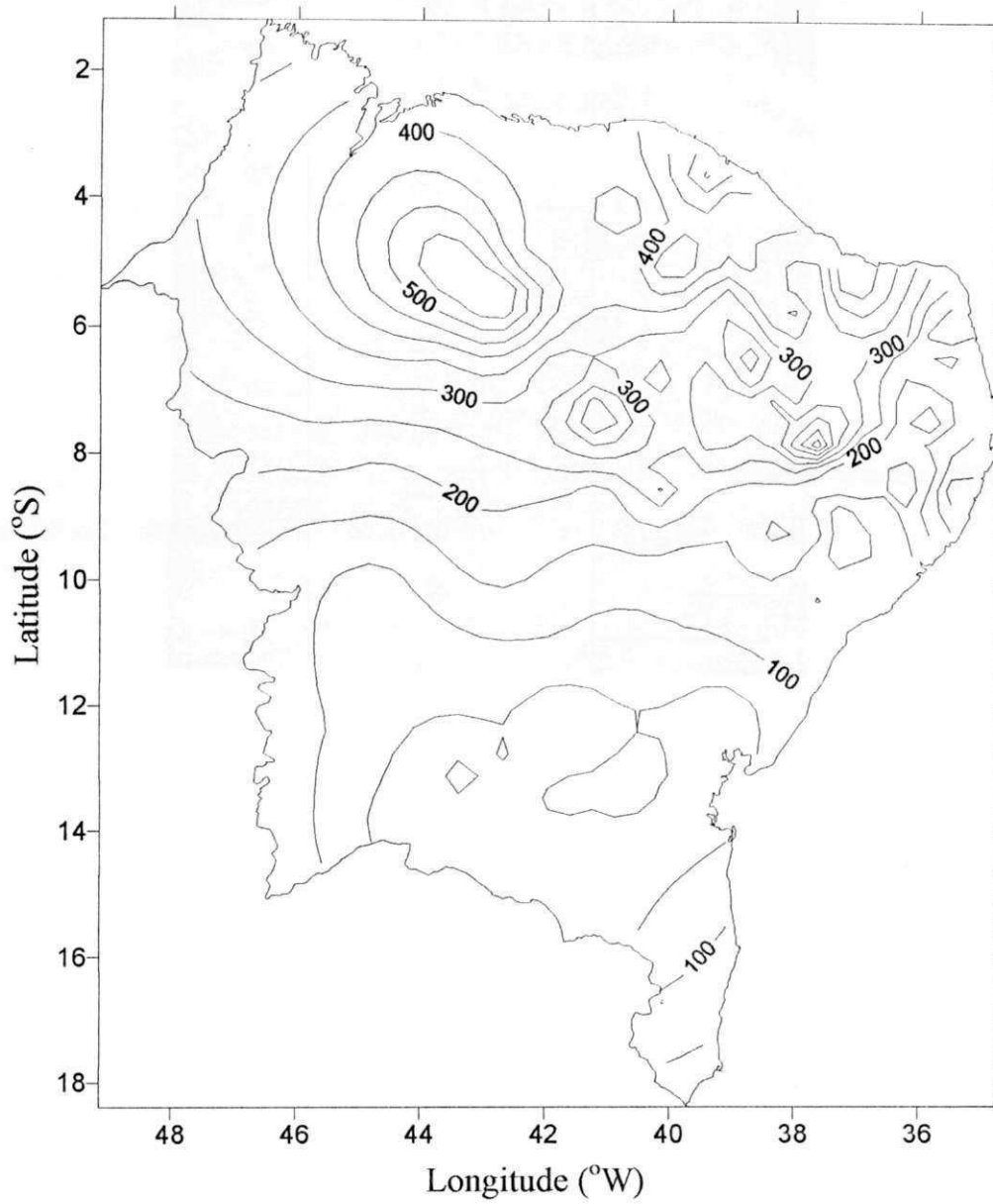
YAMAZAKI, Y e RAO, V.B. Tropical Cloudiness over the South Atlantic Ocean. **Journal of the Meteorological Society of Japan**. 55, 203-207. 1977.

# APÊNDICE

## APÊNDICE A



Apêndice A1 – Distribuição Espacial da Precipitação Média para o Mês de Março de 1983



Apêndice A2 – Distribuição Espacial da Precipitação Média para o Mês de Março de 1986