

SIMULAÇÃO NUMÉRICA DA CAMADA LIMITE DO PANTANAL MATO-GROSSENSE

P. Y. Kubota

Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
kubota@cptec.inpe.br

A. O. Manzi

Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
matao@cptec.inpe.br

M. A F. Silva Dias

Departamento de Ciências Atmosféricas, Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo
mafsdias@model.iag.usp.br

Amaury de Souza

Departamento de Física da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul

Palavras-chaves: Modelo numérico; Circulações locais; Pantanal; Heterogeneidade de superfície

ABSTRACT

O objetivo deste estudo é averiguar, através da simulação numérica, a formação de circulações locais induzidas pela heterogeneidade da superfície do Pantanal Sul Mato-grossense. Das análises das simulações realizadas com o modelo RAMS (*Regional Atmospheric Modelling System*), com as grades centradas nas coordenadas 19°34'S e 57°01'W, observou-se a ocorrência de circulações locais devidas à heterogeneidade das características da superfície, como a distribuição de vegetação e de corpos de água, que geram fluxos de calor sensível e latente diferentes e provocam a geração de circulações locais. A contribuição do escoamento sinótico tem grande influência na intensidade destas circulações. As simulações numéricas foram feitas para os dias 18, 19 e 20 de setembro de 1999, no período da segunda campanha intensiva de coleta de dados do Projeto Integrado do Pantanal, IPE-2, realizada entre 7 e 30 de setembro de 1999 na Base de Estudos do Pantanal (BEP) da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS), Passo do Lontra, município de Corumbá, MS.

1 - INTRODUÇÃO

Há no Brasil regiões onde pouco se conhece sobre as características da camada limite, citando-se como exemplo a região do Pantanal Mato-grossense, que compreende a maior planície sedimentar inundável do mundo. Esta se encontra na parte central da América do Sul, ocupando um território, no Brasil, de aproximadamente 138.183 km² (Vila da Silva et al. 1998). Sua localização, segundo a divisão cartográfica do IBGE, encontra-se entre os paralelos 16° e 21° sul e os meridianos 55° e 58° oeste. O Pantanal destaca-se também por apresentar uma grande variedade de biótipos e ecossistemas, o que torna essa região um ambiente altamente diversificado, sendo uma das características mais importantes o contraste entre o período seco e o úmido.

As características da superfície da região do Pantanal Mato-grossense alteram-se no decorrer do ano, apresentando contrastes muito variados entre períodos de inundações e secos, influenciando assim nos processos físicos da atmosfera da região pantaneira. O grande contraste entre os períodos secos e úmidos e a variabilidade da vegetação, tanto espacialmente quanto temporalmente, afetam o albedo, a umidade do solo e a rugosidade, alterando, portanto, o balanço de energia, em especial a distribuição espacial da partição entre os fluxos de calor sensível e de calor latente, podendo assim gerar circulações locais (Arya, 1988).

Apesar dos atuais conhecimentos sobre os processos físicos na atmosfera da região do Pantanal há, ainda, carência de informações e estudos mais detalhados sobre a camada limite planetária da região. Assim, este trabalho tem como objetivo simular numericamente a camada limite da região pantaneira, utilizando o modelo RAMS (*Regional Atmospheric Modelling System*), para averiguar sua evolução diurna e o comportamento das circulações locais, mais especificamente na região meridional do Pantanal, na sub-região do Pantanal do Abobral. As circulações locais podem afetar as medições dos fluxos turbulentos realizados na região (Marques Filho, 2000).

2 – SÍTIO EXPERIMENTAL E INSTRUMENTOS

A região do sítio experimental da campanha IPE-2 situa-se na Fazenda São Bento, cerca de 1,5 km da Base de Estudos do Pantanal (BEP), da Universidade Federal do Mato Grosso do Sul (19° 34'S; 57° 01'W), em Passo do Lontra, distante cerca de 315 km de Campo Grande, 100 km de Corumbá e 100 km de Miranda, MS. A região, que se constitui em amostra típica do Pantanal local, caracteriza-se por vegetação de cerrado, cuja classificação estrutural corresponde a savana arbórea aberta, a qual regionalmente é conhecida por paratudo, sendo formada por um tipo de ipê, o paratudo *Tabebuia aurea* (Magalhães, 1992). Ao sul da torre encontra-se um extenso cinturão de mata ciliar, do Rio Miranda, distante aproximadamente 1 km. Ao norte, ao sul e à oeste a vegetação apresenta esporadicamente arbustos e árvores de médio porte, situados em região com extensas áreas de gramíneas. À leste as gramíneas são predominantes (campos limpos).

A média da precipitação acumulada para o mês de setembro é de 54,1 mm, obtida através dos dados interpolados das estações do INMET para um período de 30 anos. A precipitação acumulada registrada durante o mês de realização da campanha IPE-2 foi de 36,4 mm, mostrando assim, que o período da campanha foi mais seco que a média. A campanha IPE-2 realizou-se entre os dias 7 a 30 de setembro de 1999, onde foram obtidas várias medidas micrometeorológicas e em torno da torre de 22 metros de altura. Realizaram-se sondagens sistemáticas da camada limite atmosférica com radiossondas e com sodar.

3 – METODOLOGIA

O modelo RAMS foi escolhido para este trabalho de modelagem da camada limite devido a possibilidade de utilização de alta resolução e aninhamento de suas grades, que aumentam a precisão das simulações na região de interesse.

As grades foram centralizadas nas coordenadas do local onde foram realizadas as medições da campanha IPE-2. O modelo foi rodado com uma grade principal tendo um espaçamento de grade na horizontal de 2 km, apresentando 80 pontos de grade tanto na coordenada x como em y. A grade secundária teve um espaçamento de grade na horizontal de 0,5 km, com 80 pontos de grade tanto em x como em y. O domínio vertical do modelo foi escolhido com uma altura de 12500 m distribuído em 30 níveis.

A distribuição espacial do solo é de predominância arenosa sobre a região, optou-se assim por um tipo de solo arenoso cobrindo todo o domínio do modelo RAMS, opção 3 (areia franca).

A distribuição de vegetação no domínio das grades foi obtido através dos mapas de vegetação do RADAMBRASIL. Foram agrupadas as classes que mais se aproximavam entre si, para evitar um número excessivo de classes, o que dificultaria a representação pelas classes do modelo RAMS.

Para a grade aninhada optou-se por utilizar uma vegetação que representasse uma mata ciliar na borda dos rios e lagos permanentes e outra que representasse a vegetação no restante do domínio. A opção da classe de vegetação do modelo RAMS, utilizada para representar a vegetação ciliar foi a opção 19 (floresta com folha larga permanente) e para representar o restante do domínio utilizou-se a opção 26 (Savana aberta).

A inicialização homogênea foi escolhida para as simulações com o modelo RAMS. Esta inicialização caracteriza-se pela utilização de um único perfil de radiossondagem, sendo o mesmo, extrapolado no instante inicial para todo o domínio da grade. Realizaram-se as simulações por um período de 25 horas, para os dias 18, 19 e 20 de setembro de 1999, utilizando-se as sondagens realizadas às 02h00 local de cada dia na inicialização. Esses dias foram selecionados por representarem condições meteorológicas distintas. O dia 18 foi de céu totalmente limpo (sem nuvens), enquanto que o dia 19 começou com céu limpo e apresentou chuva leve (2 mm) depois das 16h00 locais e o dia 20 foi um dia mais nublado.

Os parâmetros do esquema de superfície foram obtidos das observações *in situ* e de ajustes que permitissem a simulação correta das componentes dos balanços de energia e radiativo observados.

Uma redução de 12% no fluxo de radiação solar foi imposto para representar a atenuação pelos aerossóis presentes na atmosfera do Pantanal no período de realização da campanha IPE-2, o que permitiu simular corretamente o fluxo de radiação solar incidente à superfície no dia 18 de setembro, que foi um dia sem nuvens.

O modelo foi rodado com a opção de microfísica de nuvens acionada. e o esquema de radiação utilizado foi Maher e Pielke.

4 – ANÁLISE DOS RESULTADOS

A figura 4.1 apresenta as componentes do balanço radiativo (radiação solar incidente e saldo de radiação à superfície) e do balanço de energia (fluxos de calor latente e de calor sensível), comparando os valores observados com os produzidos pelo modelo RAMS para o dia 18 de setembro, com a finalidade de mostrar o ajuste satisfatório do esquema de superfície do modelo.

Perfis verticais de temperatura potencial são apresentados na figura 4.2 para ilustrar a evolução da camada limite planetária simulada pelo modelo RAMS em comparação com as observações realizadas com as radiossondagens no dia 18 de setembro.

A partir da figura 4.3 são apresentados cortes bi-dimensionais (leste-oeste, altura) da intensidade do vento zonal com a finalidade de ilustrar as circulações locais produzidas pelo modelo RAMS. Os resultados apresentados referem-se somente a estrutura vertical do campo de vento zonal porque o vento meridional foi, em geral, bem menos intenso que o zonal em todos os dias de simulação.

Nas figuras 4.3-4.6 são apresentados os cortes bi-dimensionais do vento zonal nos horários das 14:00 horas locais (após 12 horas de integração do modelo) e 02:00 horas locais do dia seguinte (após 24 horas de integração do modelo). O horário das 14:00 h tem a finalidade de mostrar as circulações locais induzidas pela distribuição heterogênea da partição de fluxos turbulentos no domínio da grade interna do modelo, enquanto que o horário das 02h00 procura verificar a existência e intensidade de jatos de baixos níveis.

As componentes do balanço radiativo apresentadas na figura 4.1.a foram bem simuladas pelo modelo; a simulação das componentes do balanço de energia, apresentadas na figura 4.1.b, apresentam valores da mesma ordem de grandeza e com alguma diferença no ciclo diurno e nos valores máximos e mínimos. Esse ajuste pode ser considerado adequado para os fins da análise pretendida. As diferenças observadas ocorrem devido a diferenças nos parâmetros do solo e da vegetação que podem não estar sendo adequadamente representados no modelo. A inicialização do campo de umidade do solo é outra limitação da simulação realizada, pois somente existiam dados observados nas proximidades da torre micrometeorológica, que foram utilizados em todo o domínio do modelo de maneira uniforme. O fluxo de calor sensível simulado apresentou melhor concordância com a observação do que a simulação do fluxo de calor latente. Como o principal objetivo do trabalho é simular a evolução da camada limite e as circulações locais era necessário que a simulação do fluxo de calor sensível fosse correta.

A figura 4.2 apresenta os perfis de temperatura potencial, observados e simulados pelo modelo, as 05:00 h e as 17:00 h locais para o dia 18 de setembro. Há pouca diferença entre os perfis observado e simulado às 05:00 h, três horas após o início da integração do modelo, porém às 17:00 h a atmosfera simulada é mais fria do que a observada, apesar do saldo de radiação e do fluxo de calor sensível observados apresentarem boa concordância com a simulação. A camada de mistura mais desenvolvida e fria na simulação pode estar associada com o fato do modelo não permitir advecção de escala sinótica, na configuração de inicialização homogênea utilizada neste trabalho. Um outro fator, talvez preponderante, seja o fato de que a concentração de aerossóis de queimadas na atmosfera era grande no período da campanha. Esses aerossóis absorvendo radiação solar aqueceriam mais a atmosfera da camada limite observada que a atmosfera “limpa” do modelo.

Observando as simulações para o dia 18, figuras 4.3 e 4.4, nota-se um grande contraste quando se inicializa a simulação com (radiossondagem) e sem (atmosfera em repouso) o campo de vento observado. Nota-se que para a inicialização da simulação sem o campo de vento as circulações locais de pequena escala tornam-se mais evidentes, e, no período noturno, que o jato de baixos níveis é melhor caracterizado em relação a inicialização com o campo de vento da radiossondagem. Isto mostra a importância das condições sinóticas sobre as simulações e a influência da mesma na definição das circulações locais.

As circulações locais observadas nos cortes verticais dos campos de velocidade do vento, em todos os dias simulados, sempre apareceram no período da tarde. Isto se atribui ao forte aquecimento da superfície e a distribuição da vegetação sobre o domínio de grade, que ocasionam uma distribuição heterogênea dos fluxos turbulentos de calor sensível e latente. A direção e a intensidade do vento também afetam a configuração das células, deslocando-as de um ponto a outro.

Na superfície observam-se zonas de convergência e divergência relacionadas com as circulações locais, como apresentado na figura 4.7. Estas zonas de convergência e divergência aparecem em todos os dias simulados. Elas são mais intensas quando o modelo é inicializado sem o campo de vento observado (figura 4.7.a). O escoamento de escalas maiores influenciam na posição destas células de circulação.

As circulações locais estão associadas às regiões de convergência de quantidade de movimento em superfície, formando “ilhas” de fluxo de calor sensível de maior intensidade, como mostrado na figura 4.8.

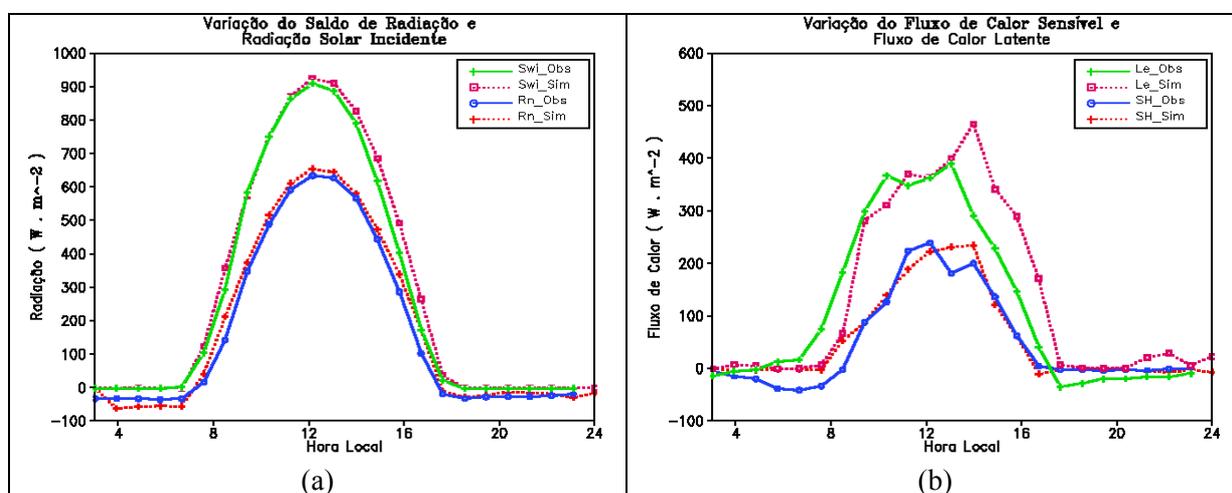


Fig. 4.1 – Componentes do Balanço de radiação e energia para o dia 18 a) radiação solar incidente e saldo de radiação à superfície e b) fluxos de calor latente e de calor sensível. (modelo: linha tracejada; observação: linha cheia. Simulação iniciada com campo de vento observado)

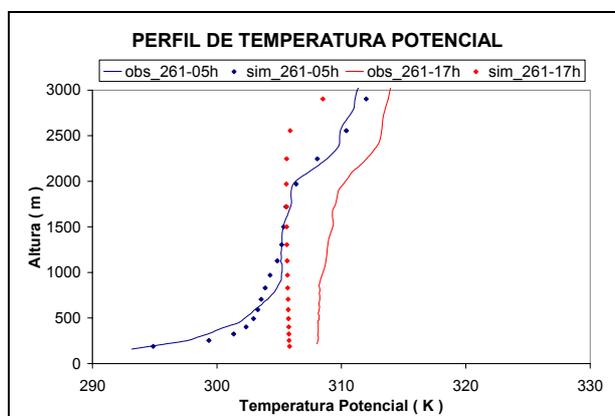


Fig. 4.2 – Perfil de temperatura potencial para o dia 18 às 05:00 h e às 17:00 h locais; observação: linha cheia; modelo: pontos discretos. (simulação iniciada com campo de vento observado)

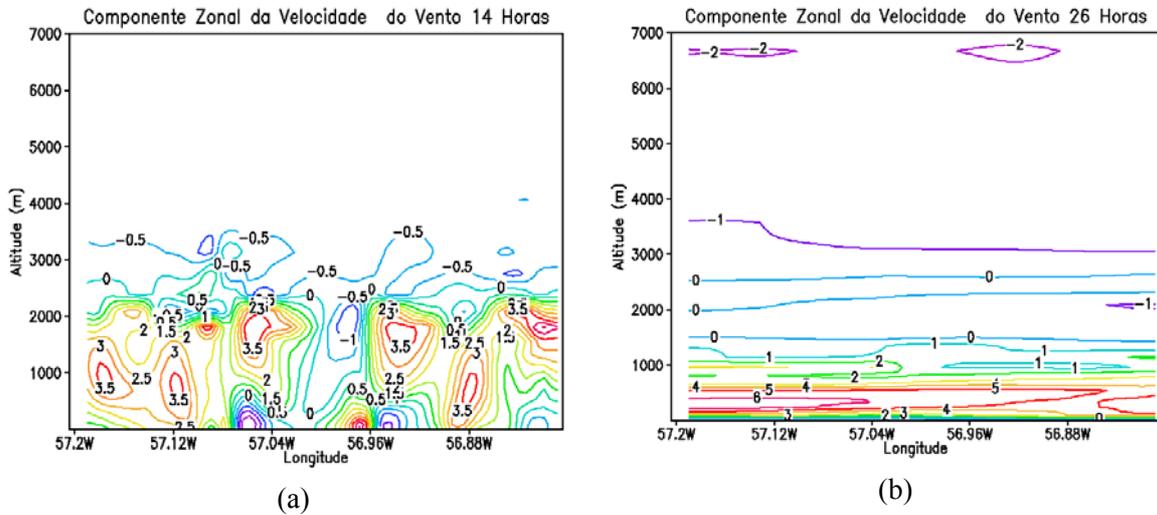


Fig. 4.3 – Corte bi-dimensional do campo da velocidade do vento para o dia 18, da simulação inicializada sem o campo de vento observado (repouso): a) 14 horas locais e b) 02 horas locais do dia seguinte.

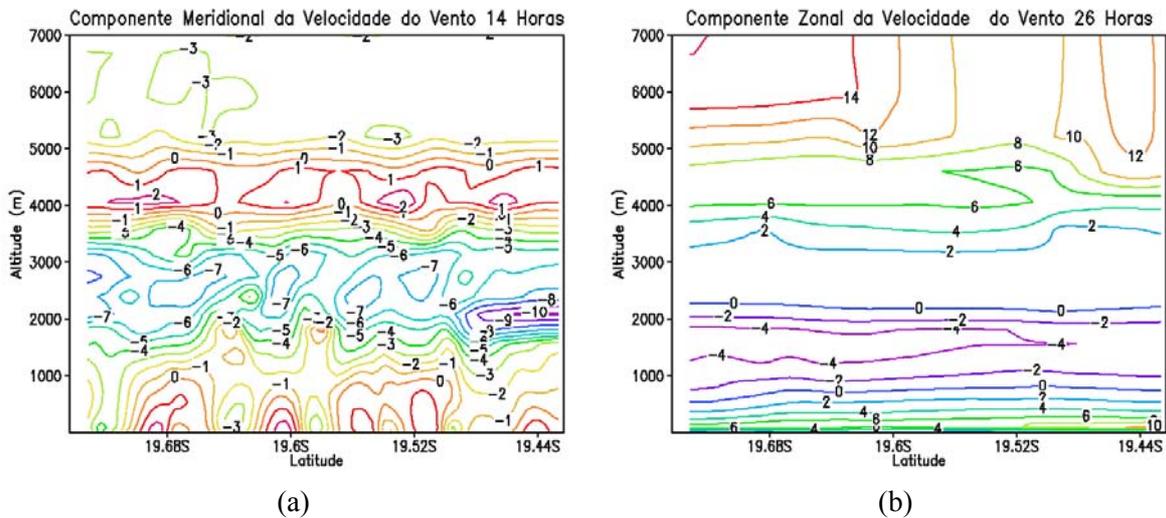


Fig. 4.4 – Corte bi-dimensional do campo da velocidade do vento para o dia 18, da simulação inicializada com o campo de vento observado: a) 14 horas locais e b) 02 horas locais do dia seguinte.

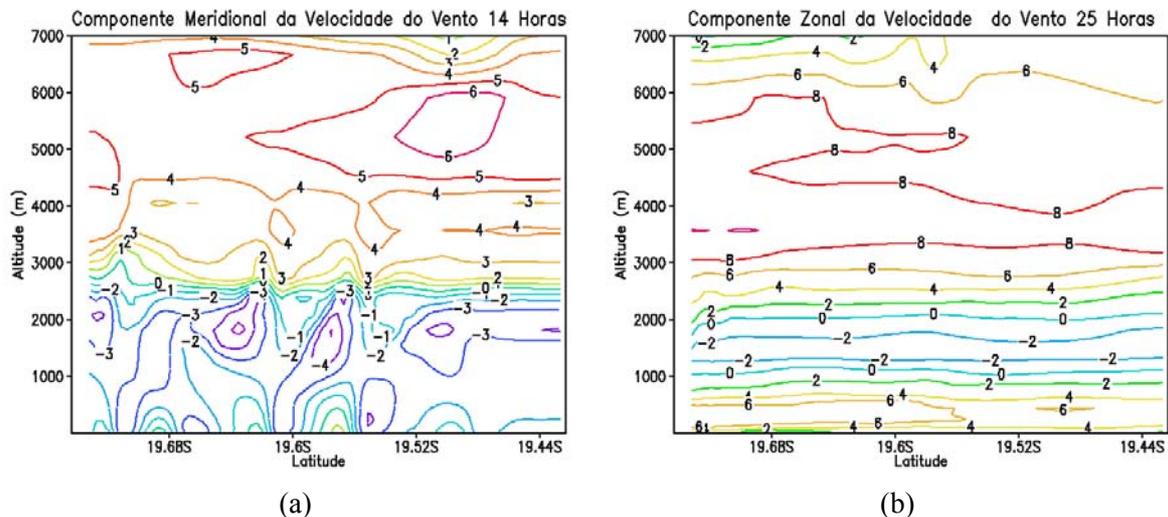


Fig. 4.5 – Corte bi-dimensional do campo da velocidade do vento para o dia 19, da simulação inicializada com o campo de vento observado: a) 14 horas locais e b) 01 hora local do dia seguinte.

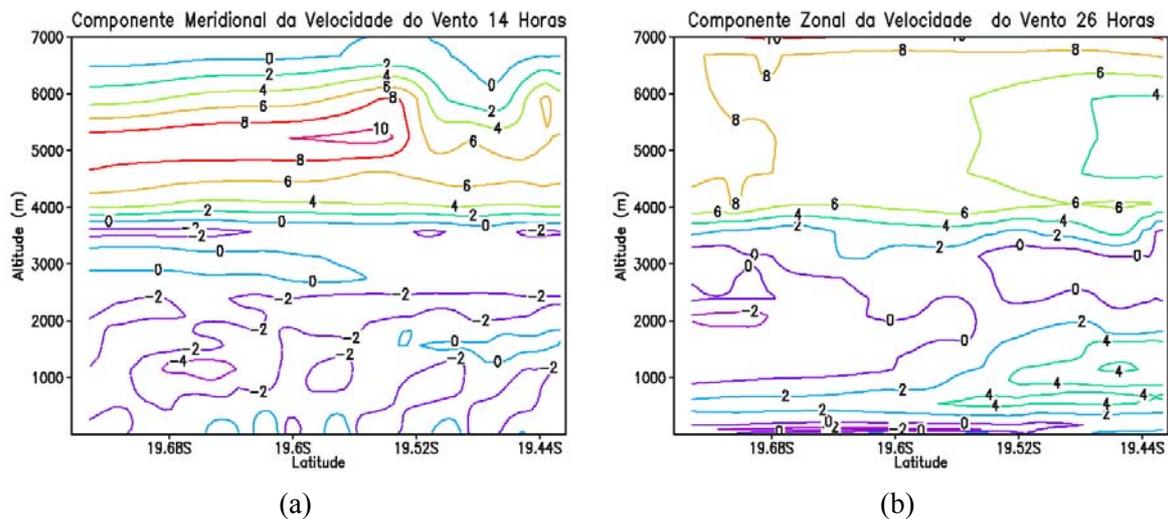


Fig. 4.6 – Corte bi-dimensional do campo da velocidade do vento para o dia 20, da simulação inicializada com o campo de vento observado: a) 14 horas locais e b) 02 horas locais do dia seguinte.

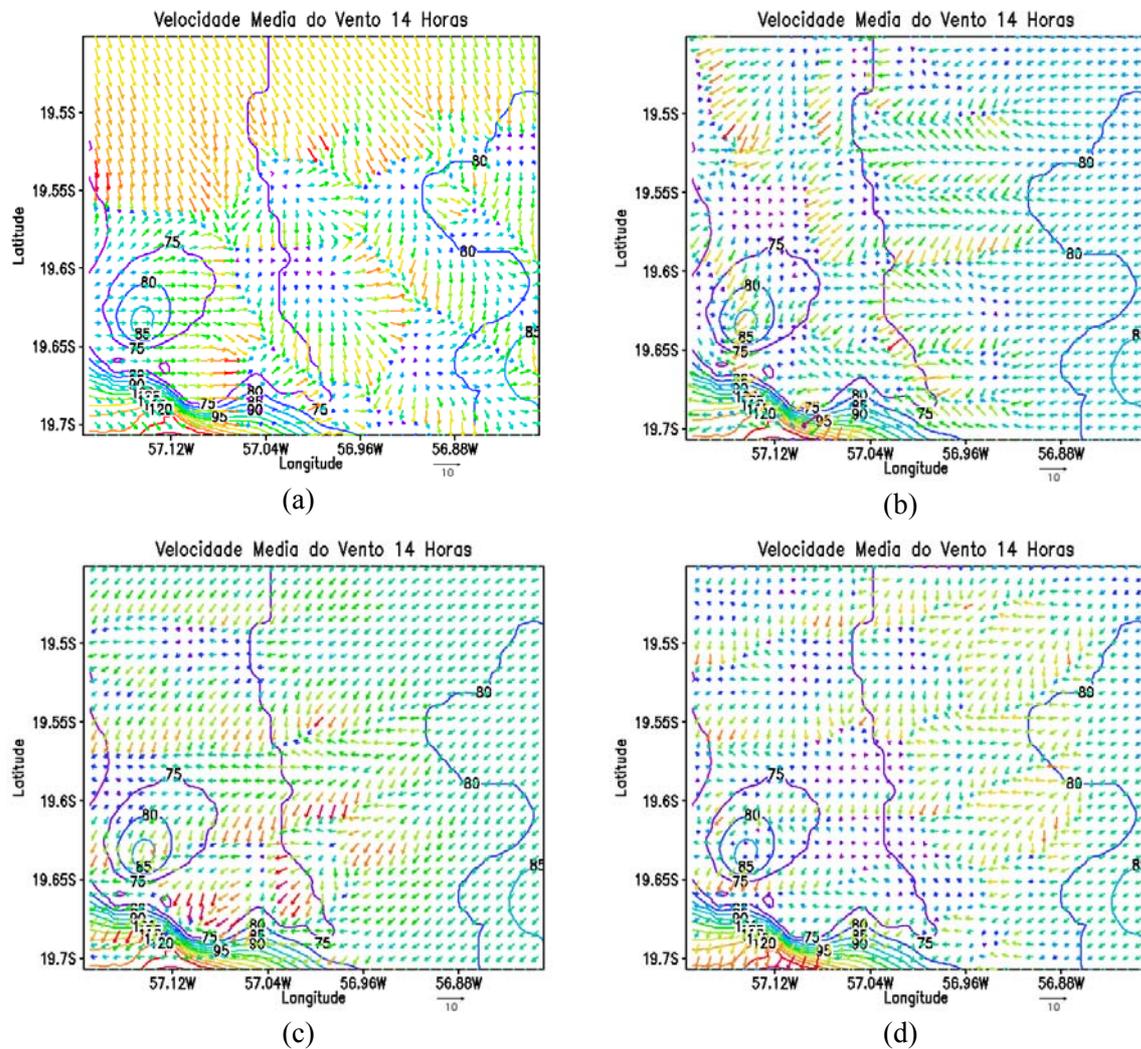


Fig. 4.7 – Representação da velocidade e direção do vento: a) Referente a simulação do dia 18, sem o campo de vento, b) Referente a simulação do dia 18, com o campo de vento, c) Referente a simulação do dia 19, o campo de vento e, d) Referente a simulação do dia 20, com o campo de vento, (as isolinhas representam topografia.)

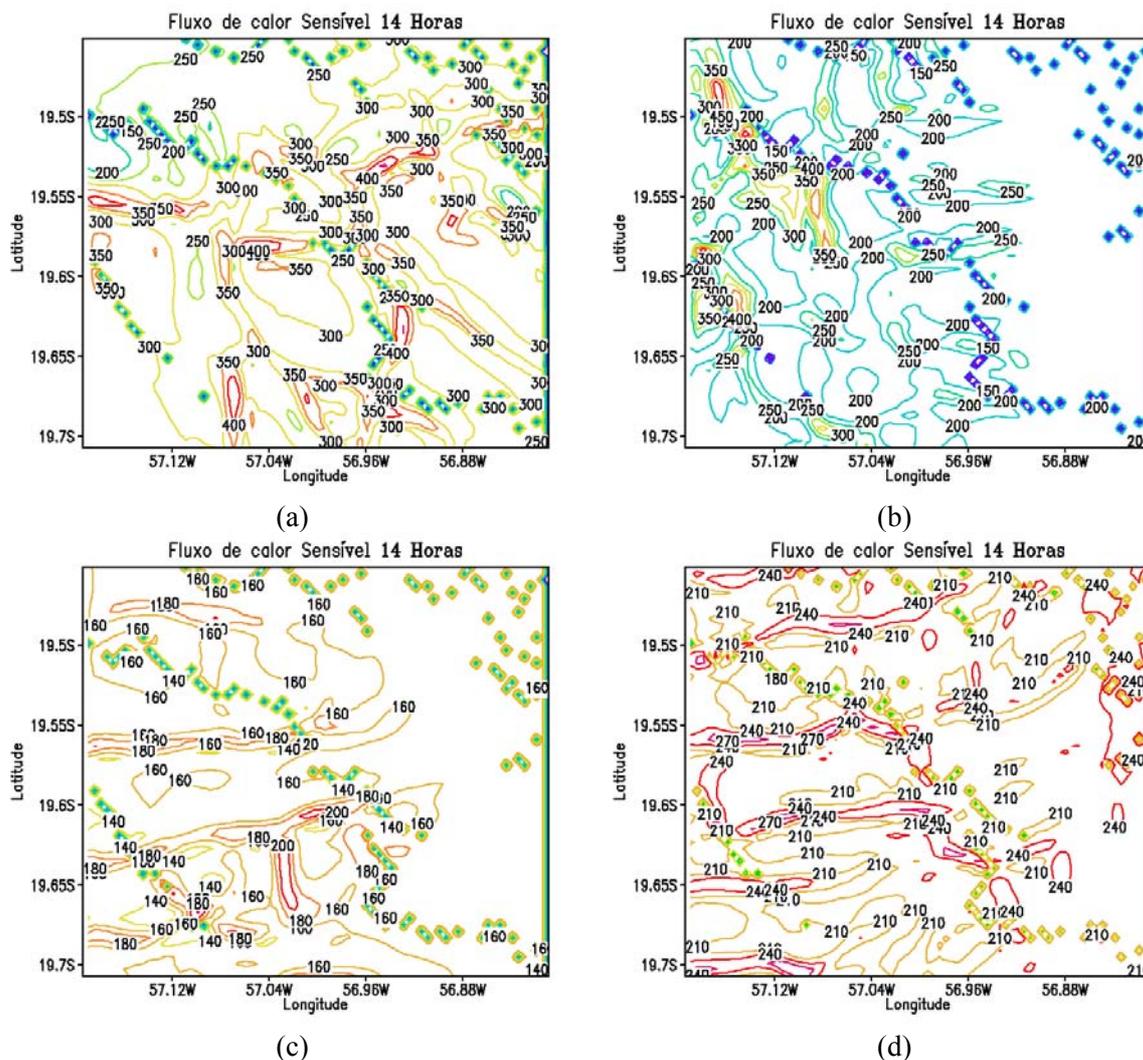


Fig. 4.8 – Representação do fluxo de calor sensível: a) Referente a simulação do dia 18, sem o campo de vento, b) Referente a simulação do dia 18, com o campo de vento, c) Referente a simulação do dia 19, o campo de vento e, d) Referente a simulação do dia 20, com o campo de vento.

A tabela 4.1 mostra as componentes do balanço de energia simulada e as observada.

TABELA 4.1 – BALANÇO DE ENERGIA SIMULADO E OBSERVADO PARA OS DIAS 18, 19 E 20.

F. de Energia	Simulado (W m ⁻²) Dia 18	Simulado (W m ⁻²) Dia 19	Simulado (W m ⁻²) Dia 20	Observado (W m ⁻²) Dia 18	Observado (W m ⁻²) Dia 19	Observado (W m ⁻²) Dia 20
Rn	194,1	193,1	186,2	177,8	120,9	152,8
H	59,6	62,3	77,3	50,5	30,12	42,0
Le	143,5	135,4	97,4	119,2	96,1	108,7
G	-9,0	-4,6	11,5	8,1	-5,3	2,6

O saldo de radiação simulado numericamente é sempre superior ao observado, devido ao fato da opção do modelo da radiação de onda curta utilizado nas simulações não interagir com as nuvens. Como os dias 19 e 20 apresentam maior nebulosidade, os saldos de radiação observados nestes dias possuem uma diferença maior em relação ao simulado, e conseqüentemente afeta os fluxos turbulentos de calor latente e sensível.

Nota-se que quase não se observam as circulações locais intensas no dia 20 (figura 4.6.a), como as observadas nas simulações para os dias 18 e 19 (figuras 4.3.a, 4.4.a e 4.5.a), que é devido ao menor saldo de radiação e ao escoamento de grande escala.

A caracterização do jato de baixos níveis no período noturno na simulação para o dia 20 (figura 4.6.b) não é visível como nos dias 18 e 19 (figuras 4.3.b, 4.4.b e 4.5.b), o que pode também ser atribuído ao menor saldo de radiação para o dia 20 (tabela 4.1), que durante o período noturno, também com menor saldo de perda de radiação de onda longa, enfraquece a estratificação térmica, diminuindo o gradiente vertical de temperatura do ar e reduzindo, assim, a intensidade do jato em baixos níveis.

5 - CONCLUSÕES

A simulação realizada para a região do Pantanal Mato-grossense próxima ao sítio experimental do projeto IPE representou adequadamente o balanço energético à superfície nas proximidades do sítio experimental. As circulações locais desenvolvidas numa região em que não há grandes contrastes topográficos foram mais evidentes nas simulações que se iniciam sem vento. A comparação das simulações com as observações apontam para alguns aspectos que poderiam ser melhorados como a absorção de radiação por aerossóis e a distribuição heterogênea da umidade de solo no instante inicial.

6 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arya, S. *Introduction to Micrometeorology*. 2. ed. New York-USA: Academic Press, 1988. 303 p.
- Magalhães, N. *Conheça o Pantanal*. 1. ed. São Paulo - BR: Terragraph, 1992. 390p.
- Manzi, A. *Relatório Final do Projeto de Pesquisa Intitulado “Estudo da Camada Limite Superficial do Pantanal Sul Matogrossense”*. (FAPESP N° 98/00105-5). Cachoeira Paulista: INPE. CPTEC, 2000. 81p.
- Marques Filho, E. *Alguns aspectos teóricos e experimentais da Camada Limite Superficial acima do Pantanal Mato-grossense*, Dissertação (Mestrado em meteorologia) - Laboratório de meteorologia e Oceanografia. São José dos Campos: INPE, 2000.
- Vila da Silva J. S. e Abdon M. M. Delimitação do pantanal brasileiro e suas sub-regiões. *Pesquisa Agropecuária Brasileira (EMBRAPA)*, Brasília-DF: v. 33, p.1703-1711, 1998.