

Figura 40. Cotogramas do nível padronizado (Zred) observados e calculados em postos fluviométricos do rio S. Lourenço (A. C. Grande e S. J. Borireu), rio Piquiri (S. Jerônimo e S. J. Piquiri), rio Aquidauana (Aquidauana e P. Ciriaco), rio Miranda (Miranda) e rio Taquari (Coxim).

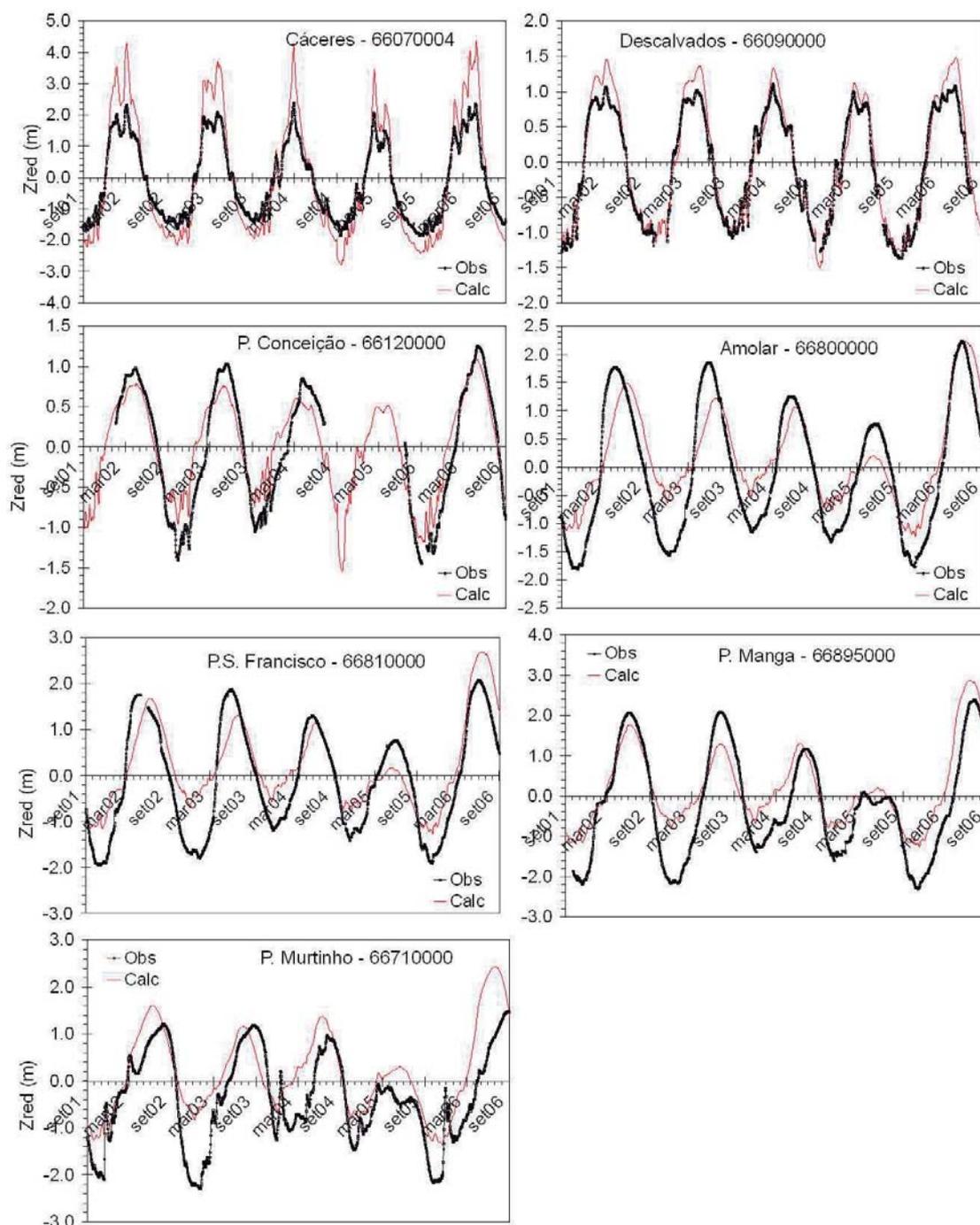


Figura 41. Cotagramas do nível padronizado (Zred) observados e calculados em postos fluviométricos do rio Paraguai, de Cáceres a Porto Murtinho.

Resultados da calibração quanto à inundação na planície

Padrão de inundação

A avaliação qualitativa do padrão de inundação obtido na simulação indica coerência nos resultados. A configuração das manchas de inundação variou a cada ano conforme a ocorrência de precipitações, condições anteriores de inundação na planície e devido às

variações nas intensidades das contribuições das sub-bacias do Planalto. Em termos gerais, as manchas de inundação oscilaram anualmente entre a situação de máxima inundação, que ocorreu em torno de março, e a de mínima área inundada, que ocorreu por volta de setembro.

Mapas de inundação típicos das situações de máxima cheia e máxima seca são apresentados na Figura 42, referentes à condição simulada no dia 1 dos meses de setembro/99, março/2000, setembro/2000 e março/2001. A comparação entre os mapas de períodos de seca e cheia consecutivos ilustra o pulso de inundação simulado.

Nos mapas do mês de setembro, predominaram áreas que ficaram inundadas de forma quase permanente no Pantanal, como a região no entorno da afluência do rio Cuiabá no rio Paraguai e desse ponto para jusante, ao longo das margens do rio Paraguai até a afluência dos rios Negro e Miranda, além da região do leque aluvial do rio Taquari. Nos mapas do mês de março, a inundação tornou-se mais generalizada, abrangendo quase toda a extensão do Pantanal no caso da cheia de 2000.

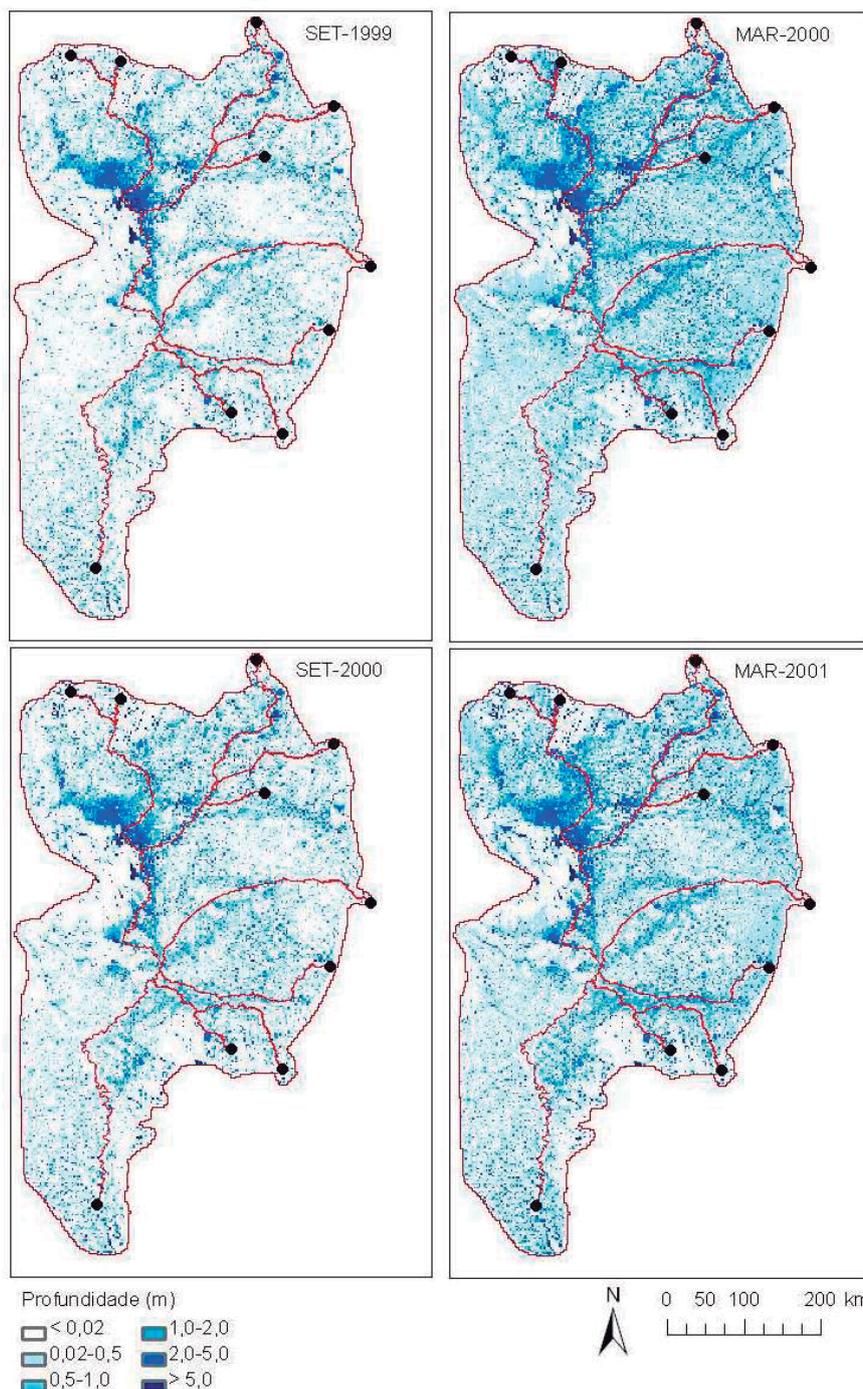


Figura 42. Manchas de inundação simuladas no período de set/99 a mar/01 (lâmina d'água no dia 1 de cada mês).

Os principais padrões de escoamento e inundação na planície identificados a partir das simulações foram apontados de forma esquemática sobre o mapa da inundação de 1 de março de 2002 da Figura 43. Destacam-se:

- i) grande perda de água do canal principal para a planície ao longo do rio Cuiabá desde Cuiabá até o posto fluviométrico São João, resultando em grande extensão da planície inundada em ambas as margens (setas 1 e 2), com retorno parcial à calha principal no trecho a montante de Ilha Camargo (seta 3), e outra parte direcionando-se até o Rio Paraguai;

ii) no trecho do rio São Lourenço a montante de S. J. Borireu, foram simulados grandes extravasamentos durante as cheias dos canais para a planície, os quais escoaram e aportaram em parte ao rio Piquiri a montante de S. J. Piquiri (seta 4); o acúmulo de água na planície do rio Piquiri também encontrou um caminho preferencial quase paralelo ao canal principal e escoou até a planície do rio Cuiabá a jusante do posto P. Taiamã (seta 6);

iii) outro padrão típico de inundação no Pantanal ocorreu no leque aluvial do rio Taquari. Foi simulado o extravasamento da calha do rio e a formação de um escoamento que ocupou uma extensa área e seguiu pela planície em ambas as margens, distanciando-se da calha (setas 7 e 8). Nas simulações, tal extravasamento ocorreu ao longo de todo ano, seja nos períodos de cheia quanto de estiagem, e principalmente no trecho logo a jusante de S. Gonçalo. Nesse ponto, existe o Arrombado do Caronal, resultante do processo geomorfológico envolvendo a dinâmica de inundação e de sedimentos e por onde é drenada parte da vazão do rio Taquari durante o período de estiagem. O escoamento que segue desde o Arrombado do Caronal pela margem direita do Taquari forma a chamada Vazante do Caronal, a qual foi relativamente bem representada na simulação. As manchas de inundação que ocorrem na planície das duas margens do Taquari formam o que se conhece como lobo distributário do leque aluvial desse rio (Assine, 2005);

iv) os rios Negro, Aquidauana e Miranda perderam um grande volume de água para a planície, o qual inundou praticamente toda a área entre esses rios e escoou pela planície (seta 10). Parte do escoamento na planície da margem esquerda do rio Miranda se espalhou para oeste e sudoeste (seta 11), enquanto a calha do rio segue sentido noroeste até o rio Paraguai. Esse escoamento na planície preponderantemente não encontrou o canal do rio Paraguai, pois seguiu por um caminho preferencial na direção sul quase paralelo ao canal (seta 23). Onde foi simulado esse caminho preferencial existe o rio Nabileque, considerado um pequeno tributário do rio Paraguai ou mesmo um braço desse rio, mas que não foi representado explicitamente na rede de drenagem do modelo hidrodinâmico 1D;

v) o trecho do rio Paraguai desde Cáceres até P. Conceição é caracterizado por grandes perdas de volume de água do canal para a planície. A água que aportou à planície a montante de Descalvados escoou em geral próximo ao traçado do canal principal (seta 12). Nas imediações do trecho Descalvados-P. Conceição, parte do escoamento pela planície seguiu em direção às lagoas Uberaba (círculo indicado pelo número 15) e Gaíba (círculo 16) e parte seguiu no entorno da calha mais ou menos no mesmo sentido de fluxo (setas 14 e 15).

vi) cabe ressaltar que as lagoas existentes na região do Pantanal, tanto as menores na região da Nhecolândia quanto as maiores como as lagoas Uberaba e Gaíba, não foram explicitamente representadas no modelo de planície. Isto é, não foi realizado nenhum procedimento de informar ao modelo a existência de tais lagoas. Simplesmente foram utilizados os valores de elevação do terreno derivados da reamostragem do MDE do SRTM-90m para a resolução do modelo de planície (2 x 2 km);

vii) o aparecimento de áreas de acumulação de água permanente no modelo de planície nos locais onde existem as grandes lagoas foi mais um fator de coerência dos resultados obtidos e do MDE utilizado. Além das lagoas Uberaba e Gaíba, puderam ser identificadas claramente a lagoa Mandioré (círculo 19), Jacadigo (círculo 22) e outras menores (círculo 21);

viii) no trecho do rio Paraguai a jusante de P. Conceição, ocorreu retorno de água da planície para o canal principal, havendo contribuição do escoamento que seguiu pela planície do rio Cuiabá (setas 5 e 17);

ix) A inundação da planície do rio Paraguai na margem esquerda escoou no sentido do canal para o sul (seta 18), havendo aporte parcial a jusante de Amolar e também acumula o na planície, inclusive na lagoa Mandior . Nas imedia o es do posto P. S. Francisco, o escoamento que vem pela margem direita da planície do rio Taquari encontrou a inunda o da planície do rio Paraguai, escoando para o sul de forma paralela a esse rio e sem aportar   calha principal dele no trecho a jusante de P. S. Francisco. Esse caminho preferencial encontrado na planície   por onde passa o rio Paraguai-Mirim, o qual não foi explicitamente representado no modelo hidrodinâmico 1D.

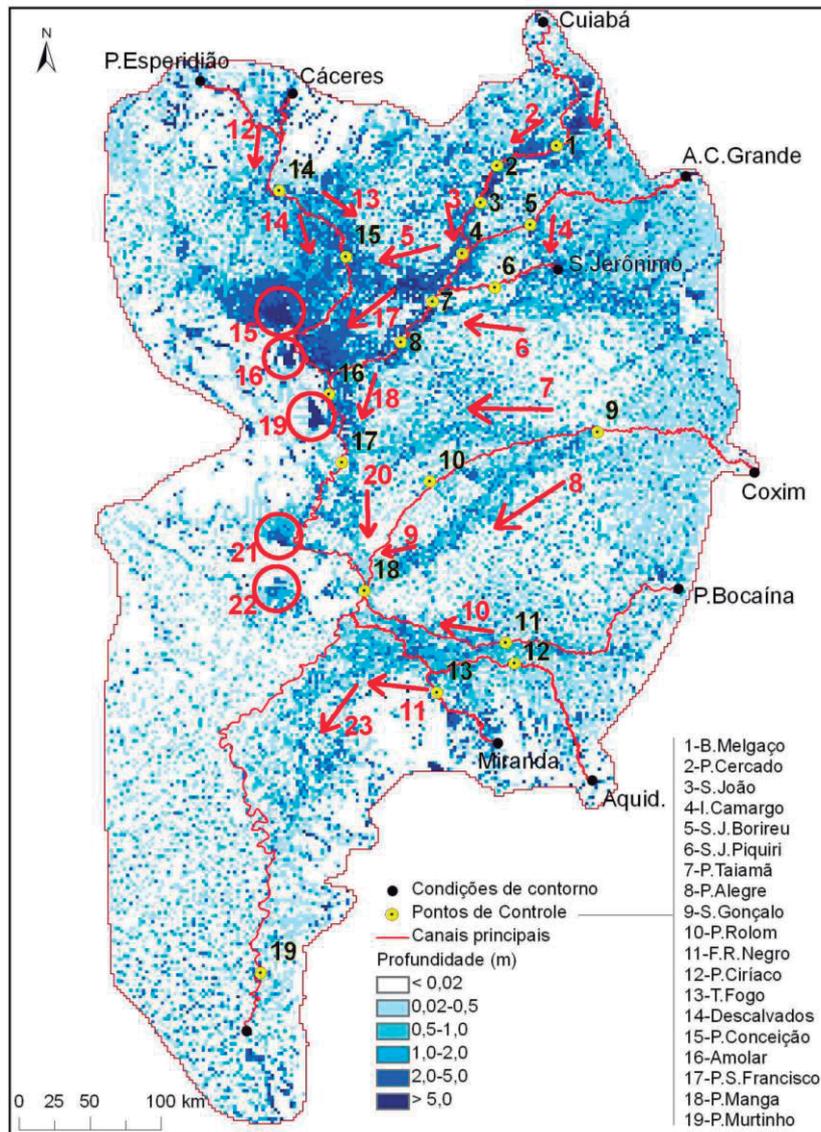


Figura 43. Mancha de inunda o simulada referente   data 1 de março de 2002, com indica o de padrões de inunda o e acúmulo de água na planície, os quais são descritos no texto.

Compara o com estimativas de Padovani (2007)

Para fins de compara o das estimativas de Padovani (2007) quanto às áreas inundadas com os resultados desta simula o hidrológica, as manchas de inunda o estimadas pelos referidos

autores foram reamostradas para a resolução do modelo de inundação (0,02° ou ~2 km). Tais estimativas têm como área de abrangência a delimitação do Pantanal elaborada pelo IBGE, a qual está quase totalmente contida dentro do domínio de simulação deste estudo.

As manchas de inundação simuladas foram transformadas de lâminas de água para imagens binárias distinguindo áreas inundadas e secas. Foi adotado o limiar de 2 cm de profundidade para a distinção dessas classes.

Na comparação visual entre manchas simuladas e estimadas por Padovani (2007), observa-se que há coerência no padrão geral das inundações tanto na época de cheia quanto de seca (Figura 44). Em ambas as datas, entretanto, os resultados das simulações subestimaram a extensão da inundação nas principais áreas de acumulação de água em relação às estimativas de tais autores. Como exemplo, tem-se as áreas inundadas na região da planície entre os rios Cuiabá e Paraguai e o leque aluvial do rio Taquari.

Por outro lado, as simulações produziram maior ocorrência de inundações pontuais em toda a planície relativamente às manchas derivadas das imagens orbitais. Tais inundações localizadas são decorrentes principalmente do balanço vertical entre precipitação e evapotranspiração no modelo de planície.

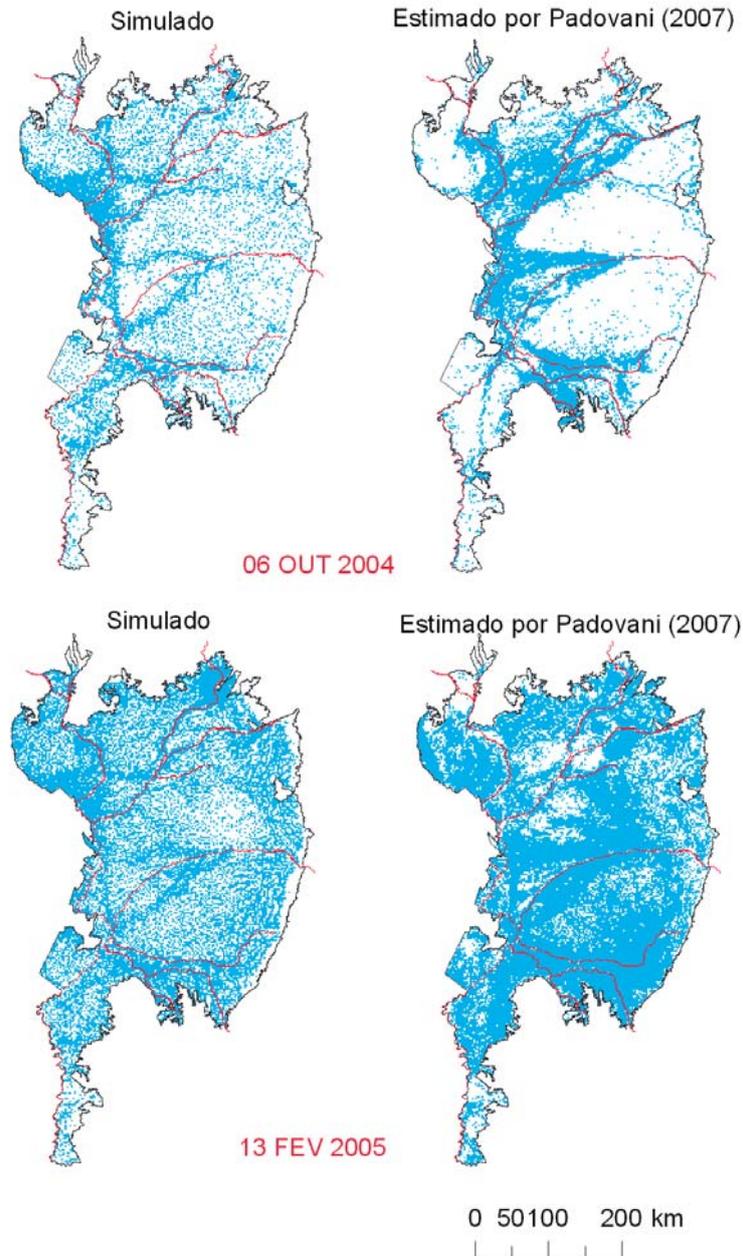


Figura 44. Mapas de inundação resultantes das simulações e estimadas por Padovani (2007), com base em imagens orbitais, em duas datas específicas (06out2004: seca; 13fev2005: cheia).

Fazendo uma comparação pixel a pixel entre as imagens de inundação derivadas das simulações e do satélite para cada data, foram geradas tabelas de contingência 2x2 do tipo inundado/não inundado e calculados índices de desempenho (Tabela 13). Essa análise foi restrita aos elementos situados na interseção entre o domínio de simulação e a delimitação do estudo de Padovani (2007).

As estatísticas derivadas das tabelas de contingência também foram calculadas para sub-regiões do Pantanal, utilizando delimitação feita por Hamilton et al. (1996) (Figura 35). Nesse caso, para cada sub-região só entraram na análise comparativa os pixels situados na interseção entre o domínio de simulação, a extensão do estudo com as imagens orbitais e a delimitação da própria sub-região.

Tabela 13 - Estatísticas da comparação entre manchas de inundação simuladas e estimadas por Padovani (2007).

Data da mancha de inundação	Região de análise*	Estatística				
		PC	ISC	POD	TAF	BIAS
06/out/2004 (estiagem)	Pantanal inteiro	0,60	0,24	0,37	0,60	0,91
	1-C.Grande	0,60	0,09	0,28	0,88	2,36
	2-Cuiabá	0,48	0,22	0,31	0,55	0,68
	3-Piquiri	0,60	0,13	0,20	0,70	0,66
	4-Taquari F.	0,72	0,20	0,36	0,68	1,13
	5-Taquari R.	0,40	0,23	0,28	0,47	0,53
	6-Nhecolândia	0,66	0,10	0,20	0,84	1,28
	7-Aquidauana	0,55	0,29	0,36	0,40	0,60
	8-Miranda	0,45	0,29	0,39	0,49	0,77
	9-Paraguai	0,49	0,41	0,55	0,38	0,88
13/fev/2005 (cheia)	10-Nabileque	0,63	0,16	0,36	0,79	1,68
	Pantanal inteiro	0,57	0,51	0,59	0,23	0,77
	1-C.Grande	0,58	0,52	0,67	0,30	0,95
	2-Cuiabá	0,62	0,54	0,72	0,32	1,06
	3-Piquiri	0,56	0,47	0,59	0,32	0,87
	4-Taquari F.	0,51	0,44	0,50	0,21	0,63
	5-Taquari R.	0,62	0,57	0,61	0,10	0,68
	6-Nhecolândia	0,46	0,40	0,43	0,16	0,51
	7-Aquidauana	0,67	0,66	0,67	0,03	0,70
	8-Miranda	0,73	0,73	0,76	0,06	0,81
9-Paraguai	0,63	0,58	0,76	0,29	1,07	
10-Nabileque	0,53	0,47	0,54	0,22	0,70	

Considerando o Pantanal inteiro, foram obtidos índices PC (proporção correta) em torno de 0,6. Esse índice representa a proporção de acertos geral em relação à quantidade de elementos analisados, sejam acertos de ocorrência como de não ocorrência de inundação. Assim, em ambas as datas, houve concordância do estado inundado ou não inundado de quase 60% dos pixels entre as duas fontes de dados.

A formulação do índice ISC (índice de sucesso crítico) é semelhante ao do PC, com a diferença que o primeiro despreza os acertos da ocorrência de não inundação. Para essa estatística, o

valor obtido para a época de seca foi de 0,24 e de 0,51 para a época de cheia, ressaltando o maior acerto das áreas inundadas da data de 13 de fevereiro de 2005. Isso também pode ser constatado a partir dos valores do índice POD (probabilidade de detecção) obtidos, de valor 0,37 na época seca e 0,59 na época de cheia.

O valor de ISC obtido para o período de cheia (0,51) está próximo aos valores obtidos na literatura ao comparar manchas de inundação simuladas e estimadas por satélite em épocas de cheia: 0,54 a 0,91 (Bates et al., 2005); 0,51 a 0,65 (Tayefi et al., 2007); 0,60 a 0,82 (Bates e De Roo, 2000); 0,57 a 0,73 (Wilson et al., 2007); 0,58 a 0,72 (Horritt e Bates, 2001). Em tais estudos, as faixas de valores são referentes a rodadas do modelo de inundação variando-se parâmetros e/ou resolução espacial da discretização. O resultado obtido nesta simulação hidrológica é considerado bastante satisfatório, já que os estudos mencionados abrangem pequena escala e usufruíram de dados detalhados de topografia da planície.

No período de seca, o índice ISC obtido também está coerente com o valor reportado por Wilson et al. (2007), que obteve ISC = 0,23. Tais autores ressaltam a dificuldade de acertar a mancha de inundação no período seco e que os demais estudos na literatura apresentam comparações apenas para épocas de cheia.

A interpretação do índice POD é que na época de cheia, dos pixels inundados na estimativa de Padovani (2007), cerca de 59% deles também foram estimados como inundado na imagem resultante da simulação com o modelo de planície. Na época de seca, esse percentual foi de apenas 37%.

Além de menor probabilidade de detecção, na época seca também foi obtida uma maior taxa de alarme falso (TAF). Dentre os pixels simulados como inundados em 06 de outubro de 2004, 60% deles foram estimados como não inundados no estudo de Padovani (2007). Esse percentual alto tem grande contribuição das inundações pontuais que apareceram nos resultados das simulações, conforme já comentado. Na data referente ao período de cheia, a TAF foi de apenas 23%.

O índice BIAS mede a tendência de superestimativa (se valor > 1) ou subestimativa (se valor < 1) em termos da quantidade total de elementos inundados. Para as duas datas analisadas, a tendência foi de subestimativa (0,91 na seca e 0,77 na cheia).

Entre as sub-regiões do Pantanal, o índice PC variou de 0,40 (Taquari R.) a 0,72 (Taquari F.) na época da seca e de 0,46 (Nhecolândia) a 0,73 (Miranda) na cheia.

O valor de PC = 0,72 em Taquari F. na seca tem maior contribuição do acerto da ocorrência de pixels não inundados e por isso o índice ISC foi baixo (0,20). Na época de cheia, o valor de PC foi reduzido para 0,51, mas o ISC aumentou para 0,44.

O menor valor do índice ISC foi obtido para a sub-região Corixa Grande (0,09) na época de seca, mas também resultaram valores inferiores a 0,20 em Nhecolândia (0,10), Piquiri (0,13) e Nabileque (0,16). Em todas essas regiões, a mancha da inundação do período seco apresentou áreas inundadas que não foram estimadas por Padovani (2007). A diferença mais notória é a oeste da lagoa Uberaba em Corixa Grande. A TAF nas quatro sub-regiões mencionadas foi acima de 0,70 no período seco, com um máximo de 0,88 em Corixa Grande.

A simulação de uma grande área inundada em Corixa Grande no período seco, a qual não apareceu na estimativa de Padovani (2007), resultou também no BIAS de 2,36, maior valor dentre todas as sub-regiões.