



## AVALIAÇÃO DOS FLUXOS DE SUPERFÍCIE A PARTIR DO MODELO WRF - ESTUDO DE CASO PARA REGIÃO DA ILHA DO BANANAL

Rayonil Gomes Carneiro<sup>1</sup>, Diogo Nunes da Silva Ramos<sup>1</sup>, Letícia d'Agosto Miguel Fonseca<sup>1</sup>, Camilla Kassar Borges<sup>2</sup>, Cleber Assis dos Santos<sup>1</sup>, Gilberto Fisch<sup>3</sup> e Laura De Simone Borma<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, INPE

<sup>2</sup>Universidade Federal de Campina Grande, UFCG

<sup>3</sup>Universidade de Taubaté, UNITAU

### Resumo

O presente trabalho teve como objetivo analisar as simulações dos fluxos à superfície de calor sensível e latente, e radiação global usando o modelo atmosférico de mesoescala (WRF) para a região da Ilha do Bananal (Tocantins, Brasil) durante três períodos sazonais distintos (alagado, seco e chuvoso) para o ano de 2004. As análises finais do modelo global do NCEP foram usadas como condições iniciais e de fronteira do WRF, cuja resolução horizontal (5 km) e parametrizações físicas seguem as configurações usadas operacionalmente no CPTEC/INPE. A radiação global, os fluxos de calor sensível e latente simulados se mostraram consistentes com os dados observados para o ciclo diário, em que o  $R^2$  foi superior a 0,8, denotando boa correlação entre os dados. No entanto, as superestimativas/subestimativas do WRF seguem um padrão sazonal distinto entre a radiação global e os fluxos de calor. Há algumas hipóteses para este resultado, como potenciais limitações na descrição das condições de superfície do modelo, sejam elas estáticas ou dinâmicas. Estudos complementares poderão investigar qual seria a sensibilidade do WRF ao atualizar as condições superficiais para cenários mais próximos da realidade, principalmente a situação de superfície alagada.

**Palavras-chave:** Floresta Amazônica; Fluxo de calor sensível; Áreas úmidas

### Abstract

The present work aimed to analyze the simulations of surface fluxes of sensitive and latent heat, and global radiation using the mesoscale atmospheric model (WRF) for the Bananal Island (Tocantins, Brazil) region during three distinct seasonal periods (flooded, dry, and rainy) for the year 2004. The final analyzes of the NCEP global model were used as initial and boundary conditions of the WRF, whose horizontal resolution (5 km) and physical parameterizations follow the operational settings used at CPTEC/INPE. The global radiation, the simulated sensitive and latent heat fluxes were consistent with the observed data for the daily cycle, where the  $R^2$  was higher than 0.8, showing a good correlation between the data. However, WRF overestimates/underestimates follow a distinct seasonal pattern between global radiation and heat fluxes. There are some hypotheses for this result, such as potential limitations in describing the surface conditions of the model, whether static or dynamic. Future studies may investigate how sensitive the WRF would be when updating surface conditions for scenarios closer to reality, especially the flooded surface situation.

**Keywords:** Amazonian Forest; Sensible heat flux; Wetlands

### 1. Introdução

As áreas úmidas são ecossistemas na interface entre ambientes aquáticos e terrestres, considerados *hotspots* globais de diversidade biológica, produtividade do ecossistema e atividade econômica (JUNK et al., 2018). As áreas úmidas cobertas por florestas situadas às margens dos grandes rios, como o Amazonas e o Araguaia, são conhecidas como florestas sazonalmente alagáveis (JUNK

et al., 2018). A composição das comunidades vegetais dessas florestas é principalmente determinada pela necessidade de adaptação durante à fase alagada, também chamada de fase aquática (PAROLIN et al., 2010).

Entender os processos físicos do balanço de energia que ocorrem entre a superfície e a atmosfera é de fundamental importância para uma correta descrição dos fenômenos atmosféricos. Uma vez que, os fluxos turbulentos de superfície servem como sumidouros ou fontes de energia, umidade, *momentum* e poluentes atmosféricos que impactam significativamente a formação e evolução de nuvens, conseqüentemente a precipitação e a dispersão de poluentes atmosféricos. Os fluxos de superfície são parâmetros cruciais para simular a mistura turbulenta, o crescimento da camada limite convectiva e o transporte atmosférico (SUN et al., 2017). Desta forma, modelos atmosféricos numéricos, em especial aqueles de mesoescala, que representem bem as interações da superfície terrestre com a atmosfera são cada vez mais importantes, sobretudo nas regiões de floresta tropical.

Porém, estes modelos apresentam limitações quanto a descrição dos processos da superfície, particularmente em áreas alagadas. Os parâmetros de superfície são geralmente definidos como estáticos, variando conforme a base de dados geográficos e com a parametrização física de superfície terrestre adotada. Lin et al. (2018) apresentaram uma metodologia de *downscaling* dinâmico meteorológico para simulações hidrológicas regionais, buscando entender como as enchentes podem ser prognosticadas durante eventos extremos de precipitação. Segundo os autores, um dos principais desafios é a calibração dos modelos de superfície terrestre, assim como, na descrição correta da cobertura vegetal do local alagado.

Portanto, o presente estudo tem o objetivo de verificar as simulações de fluxos superficiais de calor sensível, calor latente e do saldo de radiação global usando o modelo WRF para a região da Ilha do Bananal durante três períodos sazonais distintos (alagado, seco e chuvoso).

## 2. Material e Métodos

### 2.1 Área de Estudo

O estudo foi realizado na floresta sazonalmente alagável do Parque Estadual do Cantão (PEC), uma unidade de proteção integral localizada a 260 km a oeste de Palmas, Tocantins, Brasil (Figura 1). A região encontra-se na transição entre os biomas da Amazônia e do Cerrado (savana), delimitada no sudoeste pela região da Ilha do Bananal, que é a maior ilha fluvial do mundo (BORMA et al., 2009). De acordo com a classificação de Koppen o clima da região é tropical úmido-subúmido. A precipitação anual varia entre 1.300 e 1.900 mm e a temperatura de 22°C em janeiro a 31°C em setembro (BORMA et al., 2009, 2009; FONSECA et al., 2019). A estação seca ocorre entre maio e setembro e a chuvosa entre outubro e abril, concentrando aproximadamente 90% da precipitação anual. Entre fevereiro e maio, a região é afetada por inundações anuais, as quais, de acordo com os critérios de Junk et al. (2013), são do tipo monomodal, de longa duração (5 meses) e baixa amplitude. Durante o alagamento, o nível da água se eleva de 1 a 5 m acima da superfície do terreno (BORMA et al., 2009).

Na região foi instalada uma torre micrometeorológica (Figura 1) (9°49'27.9"S, 50°08'98.8"W, 120 m) pertencente ao programa LBA (do inglês, *Large Scale Biosphere-Atmosphere Experiment in Amazonia*) localizada a cerca de 2 km a leste do rio Javaezinho, um afluente do rio Javaes. No presente estudo serão utilizados os dados provenientes do sistema de *eddy covariance* (EC) composto por um anemômetro sônico tridimensional (CSAT3A *Campbell Scientific*, Estados Unidos), junto a um analisador de gás (Li-7500, *LI-COR Environmental*) fornecendo as médias a cada 30 minutos dos fluxos turbulentos de superfície (calor sensível e latente), como também medidas da radiação solar global através de um Pirânometro (CMP3, *Kipp & Zonen*, Holanda). Para a eliminação dos ruídos (*spikes*) e as interferências nas medições da turbulência um filtro foi utilizado (BI et al., 2007; BEZIAT; CESCHIA; DEDIEU, 2009; DIAZ; ROBERTI, 2014):

$$X(t) < (\bar{X} - 4\sigma) \quad (1a)$$

$$X(t) < (\bar{X} + 4\sigma) \quad (1b)$$

em que,  $X(t)$  representa as medições,  $\bar{X}$  é a média ao longo do intervalo e  $\sigma$  o desvio padrão.

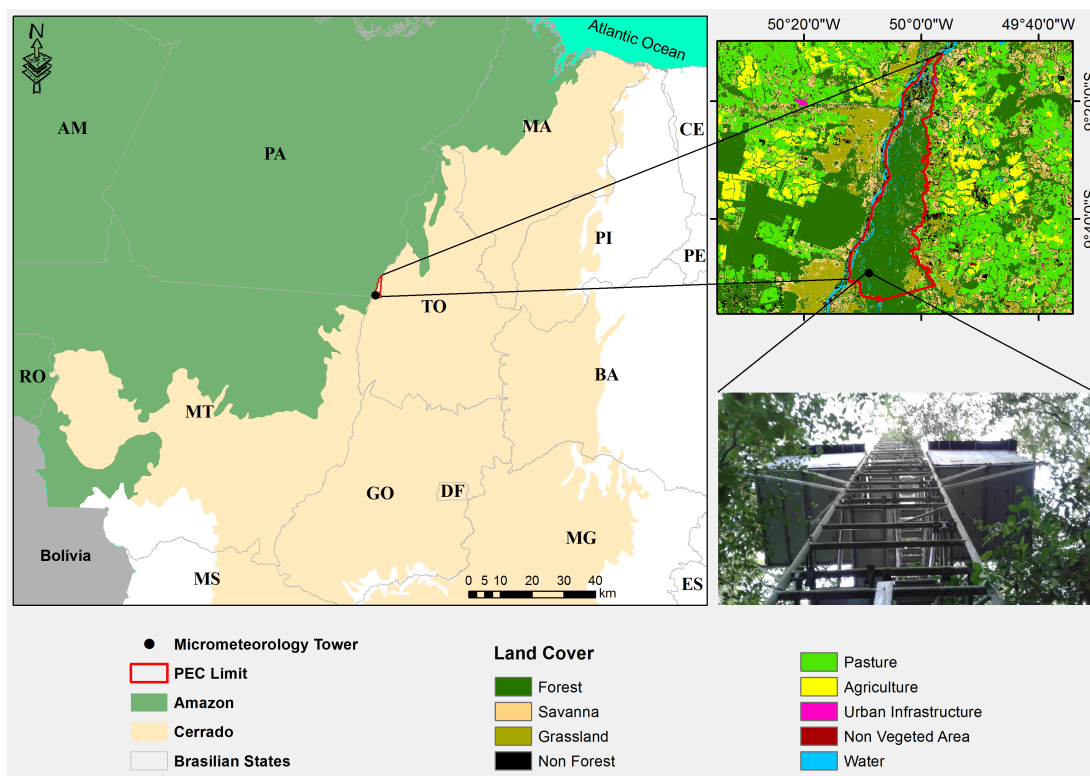


Figura 1 – Localização da área de estudo do Parque Estadual do Cantão (PEC) e posição da torre micrometeorológica.

## 2.2 Configurações do Modelo

As simulações das componentes do balanço de energia na área estudada foram obtidas por meio do modelo atmosférico de mesoescala WRF, em sua versão 3.9.1.1 (WANG et al., 2016). As configurações gerais usadas no modelo estão disponíveis na Tabela 1, enquanto a versão e as parametrizações físicas adotadas neste trabalho seguem as definições operacionais das previsões numéricas de tempo do CPTEC/INPE (<<http://previsaonumerica.cptec.inpe.br/wrf>>). A integração do modelo foi de 6 + 24 horas, com início em 00 UTC dos dias 4 a 9 dos meses de março (Período Alagado), agosto (Período Seco) e dezembro (Período Chuvoso) de 2004. A resolução horizontal do domínio foi de 5 km, centrado na posição da torre micrometeorológica (9.821° S; 50.149° W).

A Figura 1 mostra que a área do domínio do WRF possui diferentes características topográficas e de cobertura vegetal. Contudo, a região em torno da torre indica uma homogeneidade das condições superficiais descritas pelo modelo, com topografia plana e vegetação dominada por florestas e áreas pantanosas. As informações estáticas do WRF estão coerentes com os dados disponibilizados pelos programas *Brasil em Relevo* (<<https://www.cnpm.embrapa.br/projetos/relevobr>>) e *SisCob* (<<http://www.cnpdia.embrapa.br/downloads/siscob/>>) da EMBRAPA.

## 2.3 Métodos de Avaliação do Modelo

Para avaliar o desempenho do modelo na simulação dos fluxos turbulentos de superfícies nos diferentes períodos da região em relação às observações, foram calculados: *BIAS*, que é mais simples, mas define o erro sistemático (subestimação ou superestimação) do modelo; o *RMSE* (*Root-Mean-Square Error*), que mensura a sensibilidade a grandes diferenças entre as séries comparadas; e o coeficiente de determinação ( $R^2$ ), que mostra a medida de ajustamento do modelo em relação aos valores observados.

Tabela 1 – Síntese das principais configurações definidas nas simulações com o modelo WRF.

Configuração	Descrição
Condição inicial e de fronteira	FNL/GFS/NCEP: $1^\circ \times 1^\circ$ e 6 h
Condições estáticas NX, NY, NZ	Topografia: GMTED 30s; Uso do solo: MODIS+Lakes 30s 551, 501, 35
Parametrizações físicas	Microfísica: Ferrier; ROC/ROL: RRTMG; Camada superficial: MM5-Jimenez; Turbulência: YSU; Superfície: NOAH; Convecção: New Tiedke

### 3. Resultados e Discussões

As médias horárias para os seis dias de simulação para cada um dos três casos estudados (alagado, seco e chuvoso) da radiação solar global (Rg), e dos fluxos de calor sensível (H) e latente (LE), simulados a partir do WRF foram comparados com as médias das observações da torre micrometeorológica (Figura 2). Analisando a média de Rg nota-se que os valores máximos para o período alagado da região foram superestimados pelo modelo com *BIAS* em  $28,5 \text{ W m}^{-2}$  e *RMSE* de  $68,4 \text{ W m}^{-2}$  (Tabela 2), principalmente durante o período vespertino, uma vez que o máximo de Rg observado foi de  $650,5 \text{ W m}^{-2}$ , enquanto que o modelo WRF apresentou o máximo de  $730,0 \text{ W m}^{-2}$ . A simulação do período vespertino não mostrou a redução de Rg observada nos dados observacionais. No período seco os valores máximos foram de  $829,2 \text{ W m}^{-2}$  para o simulado e  $809,3 \text{ W m}^{-2}$  para o observado, atestando assim a alta sensibilidade do WRF (*BIAS* igual a  $4,7 \text{ W m}^{-2}$  e *RMSE* igual a  $16,3 \text{ W m}^{-2}$ ) ao longo de todo ciclo diário. Enquanto que, no período chuvoso, os resultados máximos foram semelhantes, com média de  $782,9 \text{ W m}^{-2}$  (observado) e  $794,5 \text{ W m}^{-2}$  (WRF). Entretanto, os valores de Rg no período chuvoso, bem como no período alagado, não apresentaram redução após o máximo no período vespertino, posto que o *BIAS* ficou em  $21,2 \text{ W m}^{-2}$  e *RMSE* de  $43,4 \text{ W m}^{-2}$ . A elevada superestimativa observada durante a tarde nos períodos alagado e chuvoso pode estar associado a subestimativa da cobertura de nuvens pelo modelo (WEHBE et al., 2019).

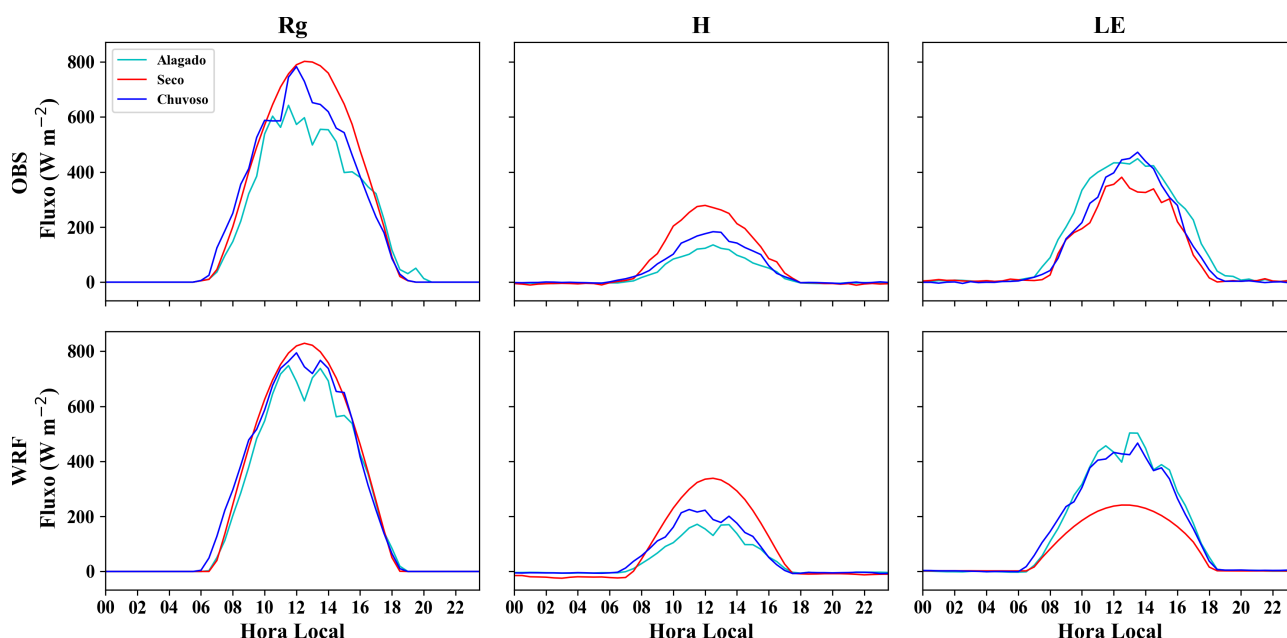


Figura 2 – Valores observados e simulados da evolução temporal média dos fluxos de radiação global (Rg) ( $\text{W m}^{-2}$ ), de calor sensível (H) ( $\text{W m}^{-2}$ ) e de calor latente (LE) ( $\text{W m}^{-2}$ ) durante os três casos analisados.

Para o fluxo de H em todos os 3 períodos considerados, constatou-se que o modelo WRF superestimou os valores em relação aos dados observacionais. Tal que, nos períodos alagado e

chuvoso, o BIAS ficou em torno de  $9 \text{ W m}^{-2}$  e o RMSE em torno de  $30 \text{ W m}^{-2}$ . Sendo que, no período alagado, os máximos foram iguais a  $135,3 \text{ W m}^{-2}$  (observado) e  $171,5 \text{ W m}^{-2}$  (simulado), e no período chuvoso, estes valores foram iguais a  $183,2 \text{ W m}^{-2}$  (observado) e  $225,1 \text{ W m}^{-2}$  (simulado). Ao passo que, no período seco ocorreu maior superestimativa ao longo do ciclo diário (BIAS aproximadamente  $17,2 \text{ W m}^{-2}$  e RMSE  $35,0 \text{ W m}^{-2}$ ), e máximos iguais a  $278,8 \text{ W m}^{-2}$  (observado) e  $338,1 \text{ W m}^{-2}$  (simulado). H à superfície simulado para todos os períodos apresentou um comportamento temporal semelhante às observações, mas com uma magnitude maior, resultados semelhantes aos encontrados por Sun et al. (2017), Hariprasad et al. (2016) para outras localidades.

Tabela 2 – Estatística de desempenho: BIAS ( $\text{W m}^{-2}$ ), RMSE ( $\text{W m}^{-2}$ ) e  $R^2$  para a os três períodos de estudo.

Período \ Variável	Rg			H			LE		
	$R^2$	BIAS	RMSE	$R^2$	BIAS	RMSE	$R^2$	BIAS	RMSE
Alagado	0,86	28,5	68,4	0,87	9,3	32,2	0,88	-2,2	15,0
Seco	0,98	4,7	16,3	0,84	17,2	35,0	0,83	-23,7	52,3
Chuvoso	0,92	21,1	43,4	0,85	8,9	31,1	0,86	17,2	49,4

O fluxo de LE estimado via modelo WRF no período alagado exibiu resultados satisfatórios, com pequena subestimativa (BIAS aproximadamente  $-2,2 \text{ W m}^{-2}$  e RMSE de  $15,0 \text{ W m}^{-2}$ ), sendo os valores máximos iguais a  $450,0 \text{ W m}^{-2}$  (observado) e  $503,2 \text{ W m}^{-2}$  (simulado). Enquanto, no período seco, houve acentuada subestimativa das simulações (BIAS aproximadamente  $-23,7 \text{ W m}^{-2}$  e RMSE  $52,3 \text{ W m}^{-2}$ ), sendo os máximos iguais a  $381,1 \text{ W m}^{-2}$  (observado) e  $241,3 \text{ W m}^{-2}$  (simulado). Contudo, no período chuvoso o LE simulado foi superestimado em cerca de  $17,2 \text{ W m}^{-2}$  (BIAS) e RMSE igual a  $49,4 \text{ W m}^{-2}$ , com os máximos iguais a  $472,0 \text{ W m}^{-2}$  (observado) e  $467,0 \text{ W m}^{-2}$  (simulado).

Conforme Smallman, Moncrieff e Williams (2013), a incompatibilidade entre os dados simulados e observados para H e LE estão relacionados à subestimativas dos dados observacionais decorrentes do não fechamento do balanço de energia à superfície.

De maneira geral, as simulações numéricas das variáveis estudadas se mostraram satisfatórias para os distintos períodos analisados, uma vez que exibiram forte correlação denotada pelos valores de  $R^2$  superiores a 0,85 (Tabela 2). Contudo, existem algumas limitações dos modelos de previsão numérica de tempo associadas à descrição da superfície terrestre que devem ser consideradas, visto que, as informações de cobertura do solo são comumente estáticas, variando apenas de acordo com a base de dados usada (i.e. MODIS, USGS, CORINE, etc). Além disso, modelos como o WRF fazem uso de uma tabela de dados com características da superfície (i.e. albedo, comprimento de rugosidade, umidade do solo, etc) descritas considerando apenas as estações de verão e inverno (WANG et al., 2016). Embora estas informações tenham pouca variação sazonal, quaisquer incoerências no tipo de vegetação e nos parâmetros biogeofísicos e aerodinâmicos da superfície podem elevar as incertezas nas simulações.

#### 4. Conclusão

Este trabalho avaliou os fluxos turbulentos, radiativos e de energia à superfície simulados pelo modelo atmosférico WRF para uma região da Ilha do Bananal durante três diferentes períodos: seco, chuvoso e alagado. As simulações dos fluxos turbulentos de calor foram satisfatórias para esses períodos, descrevendo o padrão sazonal semelhante ao observado quando comparado com os dados observacionais. Todavia, o modelo superestimou os fluxos de Rg e H em todos os períodos e LE no período chuvoso, ao passo que subestimou o LE nos períodos alagado e seco.

Como este estudo aborda uma região com alagamentos sazonais e de superfície horizontalmente homogênea, as limitações do modelo WRF precisam ser melhor verificadas em estudos futuros. A investigação de diferentes parametrizações de uso do solo e a alteração na fonte de dados de cobertura vegetal são algumas sugestões que merecem ser analisadas.



## Referências Bibliográficas

- BEZIAT, P.; CESCHIA, E.; DEDIEU, G. Carbon balance of a three crop succession over two cropland sites in South West France. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 149, p. 1628–1645, 2009.
- BI, X.; GAO, Z.; DENG, X.; WU, D.; LIANG, J.; ZHANG, H.; SPARROW, M.; DU, J.; LI, F.; TAN, H. Seasonal and diurnal variations in moisture, heat, and CO<sub>2</sub> fluxes over grassland in the tropical monsoon region of southern China. **Journal of Geophysical Research Atmospheres**, v. 112, p. 1–14, 2007.
- BORMA, L. S.; ROCHA, H. R. D.; CABRAL, O. M.; RANDOW, C. V.; COLLICCHIO, E.; KURZATKOWSKI, D.; BRUGGER, P.; FREITAS, H.; TANNUS, R.; OLIVEIRA, L.; RENNO, C. D.; ARTAXO, P. Atmosphere and hydrological controls of the evapotranspiration over a floodplain forest in the Bananal Island region, Amazonia. **Remote Sensing**, v. 114, p. 1–12, 2009.
- DIAZ, M.; ROBERTI, D. R. Cálculo das trocas de carbono num agroecossistema de arroz com aplicação de técnicas de preenchimento de falhas. **Ciência e Natura**, v. 36, p. 27–31, 2014.
- FONSECA, L. D. M.; DALAGNOL, R.; MALHI, Y.; RIFAI, S. W.; COSTA, G. B.; SILVA, T. S. F.; ROCHA, H. R. D.; TAVARES, I. B.; BORMA, L. S. Phenology and Seasonal Ecosystem Productivity in an Amazonian Floodplain Forest. **Remote Sensing**, v. 11, p. 1–17, 2019.
- HARIPRASAD, K.; SRINIVAS, C. V.; NAIDU, C. V.; BASKARAN, R.; VENKATRAMAN, B. Assessment of surface layer parameterizations in ARW using micro-meteorological observations from a tropical station. **Meteorological Applications**, v. 23, p. 191–208, 2016.
- JUNK, W. J.; PIEDADE, M. T. F.; CUNHA, C. N. da; WITTMANN, F.; SCHÖNGART, J. Macrohabitat studies in large Brazilian floodplains to support sustainable development in the face of climate change. **Ecohydrology and Hydrobiology**, v. 18, p. 334–344, 2018.
- JUNK, W. J.; PIEDADE, M. T. F.; LOURIVAL, R.; WITTMANN, F.; KANDUS, P.; LACERDA, L. D.; BOZELLI, R. L.; ESTEVES, F. A.; CUNHA, C. Nunes da; MALTCHIK, L.; SCHÖNGART, J.; SCHAEFFERNOVELLI, Y.; AGOSTINHO, A. A. Brazilian wetlands: their definition, delineation, and classification for research, sustainable management, and protection. **Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems**, v. 24, p. 5–22, 2013.
- LIN, P.; YANG, Z.-L.; GOCHIS, D. J.; YU, W.; MAIDMENT, D. R.; SOMOS-VALENZUELA, M. A.; DAVID, C. H. Implementation of a vector-based river network routing scheme in the community wrf-hydro modeling framework for flood discharge simulation. **Environmental Modelling and Software**, v. 107, p. 1–11, 2018. ISSN 1364-8152.
- PAROLIN, P.; LUCAS, C.; PIEDADE, M. T. F.; WITTMANN, F. Flood-tolerant trees of Amazonian floodplains. **Revista Pesquisas Botânica**, v. 61, p. 7–38, 2010.
- SMALLMAN, T. L.; MONCRIEFF, J. B.; WILLIAMS, M. WRFv3.2-SPAv2: development and validation of a coupled ecosystem–atmosphere model, scaling from surface fluxes of CO<sub>2</sub> and energy to atmospheric profiles. **Geoscientific Model Development**, v. 6, p. 1079–1093, 2013.
- SUN, X.; HOLMES, H. A.; OSIBANJO, O. O.; SUN, Y.; IVEY, C. E. Evaluation of Surface Fluxes in the WRF Model: Case Study for Farmland in Rolling Terrain. **Atmosphere**, v. 8, p. 1–23, 2017.
- WANG, W.; BRUYÈRE, C.; DUDA, M.; DUDHIA, J.; GILL, D.; KAVULICH, M.; KEENE, K.; LIN, H.-C.; MICHALAKES, J.; RIZVI, S.; ZHANG, X.; BERNER, J.; FOSSELL, K. **WRF ARW Version 3 Modeling System User's Guide**. Boulder, Colorado (EUA), 2016. 408 p.
- WEHBE, Y.; TEMIMI, M.; WESTON, M.; CHAOUCH, N.; BRANCH, O.; SCHWITALLA, T.; WULFMEYER, V.; ZHAN, X.; LIU, J.; MANDOUS, A. A. Analysis of an extreme weather event in a hyper-arid region using WRF-Hydro coupling, station, and satellite data. **Natural Hazards and Earth System Sciences**, v. 19, p. 1129–1149, 2019.