

Influência do uso e cobertura da terra na variabilidade espacial e temporal da evapotranspiração no sudeste da Amazônia, utilizando o modelo SWAT

Os impactos da degradação antrópica estão cada vez mais evidentes na Amazônia, e coloca em risco seus sistemas ambientais e recursos hídricos, principalmente em bacias pouco monitoradas. Nesse sentido, a utilização de modelos hidrológicos faz-se necessária para auxiliar no entendimento desses impactos. Objetivou-se, neste trabalho, analisar a simulação da evapotranspiração na bacia hidrográfica do Rio Itacaiúnas e sua relação com os impactos antrópicos na região sudestes do estado do Pará utilizando o modelo SWAT, bem como sua calibração e validação. Para a modelagem do SWAT são necessárias várias bases de dados, tais como: relevo, uso e ocupação do solo, tipos de solo, variáveis climáticas e hidrológicas, esses dados são parâmetros de entrada para o SWAT. Os resultados mostraram que a evapotranspiração na Amazônia tende a seguir o inverso do ciclo sazonal da precipitação, onde os maiores valores estão entre junho a outubro e os menores entre dezembro a maio. Ficou evidente que os fluxos de base e lateral são os fluxos que mantêm os rios perenes na estiagem de precipitação. Diante das ações antrópicas na bacia, a evapotranspiração potencial e real é visivelmente afetada em condições de degradação ambiental, como a substituição de floresta por pastagem e mineração. No sentido da calibração e validação e teste de tendência foi observado que o SWAT consegue simular evapotranspiração com eficiência para a região, e que existe evidências de tendência negativa na evapotranspiração na pastagem, outrossim a floresta se mantém homogênea. Tais resultados poderiam auxiliar em políticas de mitigação e adaptação nos sistemas ambientais da região.

Palavras-chave: Uso da Terra; Evapotranspiração; Estatística não paramétrica.

Influence of land use and land cover on spatial and temporal variability of evapotranspiration in southeastern Amazonia using the SWAT model

The impacts of anthropogenic degradation are increasingly evident in the Amazon, and endanger their environmental systems and water resources, especially in poorly monitored basins. In this sense, the use of hydrological models is necessary to help in understanding these impacts. The objective of this study was to analyze the simulation of evapotranspiration in the Itacaiúnas River basin and its relationship with the anthropic impacts in the southeastern region of Pará state using the SWAT model, as well as its calibration and validation. SWAT modeling requires several databases, such as: relief, land use and occupation, soil types, climate and hydrological variables, these data are input parameters for SWAT. The results showed that evapotranspiration in the Amazon tends to follow the inverse of the seasonal precipitation cycle, where the highest values are between June and October and the lowest between December and May. It was evident that the base and lateral flows are the flows that keep the perennial rivers in the dry drought. Given the anthropic actions in the basin, potential and actual evapotranspiration is visibly affected under conditions of environmental degradation, such as the replacement of forest by grazing and mining. With regard to calibration and validation and trend testing it was observed that SWAT can simulate evapotranspiration efficiently for the region, and there is evidence of negative trend in pasture evapotranspiration, and the forest remains homogeneous. Such results could assist in mitigation and adaptation policies in the region's environmental systems.

Keywords: Land use; Evapotranspiration; Nonparametric statistics.

Topic: **Engenharia Ambiental**

Received: **11/06/2019**

Approved: **14/07/2019**

Reviewed anonymously in the process of blind peer.

Edivaldo Afonso de Oliveira Serrão 
Universidade Federal de Campina Grande, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/5700978243198274>
<http://orcid.org/0000-0003-2376-847X>
oliveiraserrao@gmail.com

Madson Tavares Silva 
Universidade Federal de Campina Grande, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/8829792848536805>
<http://orcid.org/0000-0003-1823-2742>
madson.geotech@gmail.com

Francisco de Assis Salviano de Sousa 
Universidade Federal de Campina Grande, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/5392432872592612>
<http://orcid.org/0000-0002-4085-0785>
fsouza2011@gmail.com

Lorena Conceição Paiva de Ataíde
Universidade Federal de Campina Grande, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/5895545180484202>
lorenaataide07@gmail.com

Cleber Assis dos Santos 
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/1612541588794395>
<http://orcid.org/0000-0003-3240-7238>
cleberassis.ufpa@gmail.com

Vicente de Paulo Rodrigues da Silva 
Universidade Federal de Campina Grande, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/3750344965379269>
<http://orcid.org/0000-0003-4914-4833>
vicente.paulo@ufcg.edu.br

Bruce Kelly da Nobrega Silva 
Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/4323502426271751>
<http://orcid.org/0000-0002-1270-1336>
brucekellys@gmail.com



DOI: 10.6008/CBPC2179-6858.2019.004.0011

Referencing this:

SERRÃO, E. A. O.; SILVA, M. T.; SOUSA, F. A. S.; ATAÍDE, L. C. P.; SANTOS, C. A.; SILVA, V. P. R.; SILVA, B. K. N.. Influência do uso e cobertura da terra na variabilidade espacial e temporal da evapotranspiração no sudeste da Amazônia, utilizando o modelo SWAT. *Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais*, v.10, n.4, p.134-148, 2019. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2019.004.0011>

INTRODUÇÃO

A Bacia Amazônica representa a maior extensão de florestas tropicais da Terra, exercendo significativa influência no clima local e global devido aos fluxos de energia e água na atmosfera. Exerce um papel importante no sequestro de carbono, bem como na emissão de água para a atmosfera que é fundamental na manutenção da própria floresta, além de ter uma rica diversidade cultural e biológica (STICKLER et al., 2013). As altas taxas de precipitação na Amazônia e os grandes volumes de fluxo de água no rio fazem partes do grande ciclo hidrológico da região que auxilia outros ecossistemas do Brasil, como o Cerrado (MALHI et al., 2008). Porém, o crescente aumento na taxa de desmatamento na Amazônia coloca cada vez mais em risco o balanço hídrico e com isso seus sistemas ambientais.

Nessa problemática, faz-se necessário estudar as alterações antrópicas e seus efeitos sobre o regime hídrico da Amazônia. Presume-se que, alterações dos ciclos da água, balanço de energia, carbono e nutrientes, resultantes da mudança no uso e cobertura do solo na Amazônia possam provocar consequências climáticas e ambientais em escalas local, regional e global (COHEN, et al., 2007).

A evapotranspiração (ET) influencia a chuva por meio de processos de reciclagem atmosférica e, particularmente, por meio desse mecanismo nos trópicos, influencia também os padrões regionais de temperatura e a umidade do ar, e a umidade do solo (MARENGO et al., 2009). Sua importância se dá, propriamente, no contexto da partição da energia de superfície porque é a combinação de fluxos de calor sensível em superfície e fluxos de calor latente que controlam a umidade e a estabilidade da camada limite planetária e que, portanto, estimulam a chuva de origem convectiva. Do mesmo modo, a evaporação controla a funcionalidade do ecossistema porque a transpiração é ligada à atividade fotossintética da vegetação (MARENGO et al., 2009).

O desmatamento reduz a evapotranspiração e aumenta o escoamento superficial devido ao menor índice de área foliar, à diminuição da densidade e profundidade da raiz, e aumento da compactação do solo (TUCCI, 2005). As pressões globais da população e do desenvolvimento econômico e regional resultaram em altas taxas de desmatamento na bacia Amazônica, cerca de 17% da bacia foi desmatado até 2007, principalmente na porção leste e sul da bacia (FEARNSIDE et al., 2006). Segundo os dados apresentados pelo PRODES (2019), o estado do Pará é o estado mais desmatado nos últimos sete anos, com 37,12% de floresta amazônica foi retirada. A pecuária e a crescente produção de soja, principalmente como exportação de alimento para animais na Europa e a China (NEPSTAD et al., 2006) são as principais forças para o desmatamento da Amazônia nas últimas décadas e tendem a aumentar no futuro (COE et al., 2009).

Neste sentido, das alterações antrópicas na Amazônia, muitos estudos buscam e propõem ferramentas para analisar esses impactos nos diversos aspectos ambientais. Para Sahin et al. (1996), a modelagem hidrológica é uma importante ferramenta no entendimento do ciclo hidrológico e pode auxiliar na gestão dos recursos hídricos de uma bacia hidrográfica.

Vários modelos hidrológicos têm sido desenvolvidos e aplicados para os biomas do Brasil, desde bases conceituais simples até a inserção dos SIGs desenvolvendo os modelos distribuídos de base física

(TUCCI, 2005). Dentre estes, o Soil and Water Assessment Tool (SWAT) desenvolvido no início de 1990, é um modelo hidrológico para grandes bacias (ARNOLD et al., 1998). O SWAT foi projetado para incorporar dados de entrada de origem numérica e vetorial com objetivos de permitir a análise dos processos hidrológicos em grande escala espacial, seu processamento também é feito em escala contínua do tempo, permitindo simulações de mudança na cobertura do solo e alterações nas componentes do clima (ARNOLD et al., 1998; ARNOLD et al., 2005).

Diante do exposto, o objetivo desse estudo é simular a evapotranspiração na bacia hidrográfica do Rio Itacaiúnas através do modelo SWAT; calibrar e validar o modelo para esta variável, relacionar a ET simulada pelo SWAT com a ET calculada através de métodos tradicionais; analisar a variabilidade temporal da ET; analisar a variabilidade da ET com a dinâmica de uso e cobertura do solo na bacia, por fim, relacionar a ET simulada pelo SWAT com a evaporação observada.

METODOLOGIA

Área de estudo

A área de estudo compreende a bacia hidrográfica do rio Itacaiúnas na região sudeste do estado do Pará. De acordo com a Agência Nacional de Águas (ANA) a bacia hidrográfica do rio Itacaiúnas (figura 1) é classificada segundo o sistema Otto Pfafstetter, adotando as sub bacias definidas como de 'Ordem 3' (Resolução CNRH n. 30/2002), e detém uma área de 42.000km².

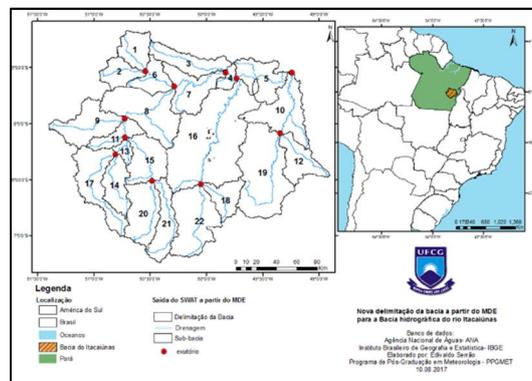


Figura 1: Localização da área de estudo.

Tem sua foz a margem esquerda do Rio Tocantins, na área urbana da cidade de Marabá e apresenta atualmente nível de desmatamento bastante elevado, estando inserida na região denominada 'arco do desmatamento' apresenta cerca de 62% de toda a sua área desmatada de acordo com Projeto de Monitoramento do Desmatamento na Amazônia Legal por Satélite (PRODES) (INPE, 2019). É uma das bacias hidrográficas que tem seu fluxo hídrico revertido para a hidrelétrica de Tucuruí, sendo está de suma importância para o desenvolvimento econômico e social do Brasil e tem um regime de precipitação em torno de 2.200mm anual, temperatura média anual de 30°C e é classificado como clima tropical de monção segundo a classificação climática de Köppen.

Banco de dados para o modelo SWAT: Dados de relevo

O primeiro passo a ser executado com o modelo SWAT é calcular o acúmulo de fluxo, redes de fluxo, declive e delineamento de bacias hidrográficas, para isso é necessário o Modelo Digital de Elevação (MDE) da área de estudo. Utilizou-se a resolução de grade do MDE de 30m por 30m, em formato raster e projetada para o Transverse Mercator (UTM) no sistema de referência espacial WGS84, este dado foi obtido através do site do United States Geological Survey.

Os dados de solo da bacia são referentes ao banco de dados da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), através do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, para o ano de 2018. O SWAT necessita das informações das propriedades físicas e químicas do solo - textura, o conteúdo de água, condutividade hidráulica, densidade a granel, pH, conteúdo de carbono orgânico, profundidade horizontal, e percentuais de areia, silte e argila para cada horizonte do solo (DESTA et al., 2017). E foram retirados do banco de dados do Variáveis ambientais para Modelos de Distribuição de Espécies. Para o uso e cobertura do solo, foi utilizado os dados referentes ao projeto TerraClass, referente ao ano de 2014, Estes dados são oriundos dos satélites Landsat 5 e 8 (sensores TM e OLI) e são elaborados a cada 5 anos.

O modelo SWAT precisar de dados meteorológicos para sua simulação, são eles: precipitação, velocidade do vento, radiação solar, umidade relativa e temperatura o ponto de orvalho. Estes são referentes ao banco de dados do *Climate Forecast System Reanalises* (CFSR) no período de 1979 a 2013, disponibilizados através do *National Centers for Environmental Prediction* (NCEP). Na área de estudo existe apenas uma estação meteorológica (no município de Marabá) pertencente ao INMET (Instituto Nacional de Meteorologia), e está foi utilizada para caracterizar o clima local com maior eficiência, e desta estação, foram extraídas as mesmas variáveis da reanálise, porém, referente ao período de 1969 a 2017.

Etapas da modelagem com SWAT

O modelo SWAT permite que vários processos físicos sejam simulados na bacia hidrográfica e a sua simulação foi realizada com dois componentes: a fase de água com: precipitação, evapotranspiração, escoamento superficial e vazão e a erosão e transporte de sedimentos ou a fase de sedimentos (ARNOLD et al., 2012; NEITSCH et al., 2011). O SWAT opera dentro do ambiente de SIG no software ArcGis, visto isso, as equações do modelo estão descritas abaixo.

Ciclo hidrológico

O ciclo hidrológico no modelo SWAT da bacia hidrográfica tem como base a equação que segue, também sendo a principal equação do modelo, definida pelo balanço hídrico: $SW_T = SW_0 + \sum_{t=1}^t (P - Q_{sup} - ET - W_a - Q_{sub})$, em que: SW_t : conteúdo final de água no solo (mm); SW_0 : conteúdo de água no solo disponível para as plantas, definido como a diferença entre a umidade de capacidade de campo e o ponto de murcha permanente (mm); t : tempo (dias); P : precipitação pluvial (mm); Q_{sup} : escoamento

superficial (mm); ET : evapotranspiração (mm); W_a : percolação (mm), e Q_{sub} : fluxo de retorno (ascensão capilar) (mm).

Evapotranspiração Potencial

O SWAT precisa calcular a evapotranspiração potencial (ETp), para então calcular a evapotranspiração real (ET), o cálculo da ETp se dá através do método de Penman-Monteith, de acordo com a equação que segue, onde leve em consideração diversas variáveis tais quais: radiação solar (S), temperatura (T), umidade relativa do ar (UR) e velocidade do vento (V). É o método mais recomendado no âmbito acadêmico e recomendado pela FAO-56 (SILVA et al., 2015).

$$\text{Tem-se } ETP = \frac{0,408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T_a + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34u_2)}, \text{ sendo que: } R_n: \text{ Saldo de Radiação (Mj/m}^2 \text{ dia}^{-1}); G:$$

Fluxo de calor no solo (Mj m⁻² dia⁻¹); T_a : Temperatura média do ar (°C); u_2 : Velocidade média diária do vento a 2m de altura; e_s : Pressão de saturação de vapor média diária (kPa); e_a : Pressão atual de vapor média diária (kPa); Δ : Declividade da curva de pressão de vapor; e Γ : Constante psicrométrica (kPa/°C).

Evapotranspiração real

A evapotranspiração real é calculada através da evaporação da água interceptada pelas plantas e evaporada pelo solo, e em seguida, a quantidade de água transpirada pelas plantas. O modelo considera que, se a evapotranspiração potencial for inferior à quantidade de água interceptada pelas plantas no dossel, seja $E_a = E_0 \rightarrow R_{INT(f)} = R_{INT(i)} - E_a$; se superior, seja $E_{can} = R_{INT(i)} \rightarrow R_{INT(f)} = 0$, sendo: E_a = evapotranspiração real diária (mm); E_{can} = a quantidade de evaporação diária livre nas plantas (mm); E_0 = evapotranspiração potencial diária (mm); $R_{INT(i)}$ = a quantidade inicial diária da água livre nas plantas (mm); $R_{INT(f)}$ = a quantidade final diária da água livre nas plantas em um dia (mm). Uma vez que qualquer água livre dentro do dossel foi evaporada, a demanda de água evaporativa restante ($E'_o = E_0 - E_{can}$) é dividida entre a vegetação e solo.

Transpiração

A transpiração é calculada pelas equações 5 e 6 e é a quantidade de transpiração que ocorrerá em um determinado dia quando a planta está crescendo sob condições ideais. Tem-se $E_t = \frac{E'_o \cdot LAI}{3.0}$ $0 \leq LAI \leq .30$ e $E_t = E'_o LAI > 3.0$, em que E_t é a transpiração máxima em um determinado dia (mm), E'_o é a evapotranspiração potencial ajustada para evaporação de água livre dentro dossel (mm), e LAI é o índice de área foliar.

Estimativa da evapotranspiração por outros métodos

No intuito de investigar se a evapotranspiração calculada pelo SWAT, está coerente com outros métodos de estimar essa variável, utilizamos as equações 7 e 8, sugeridas por Linacre (1977) e Turc (1961)

para confrontar a ET calculada pelo SWAT. O cálculo da evapotranspiração sugerida por Linacre, e utilizada por Silva (2014) está na equação $ET_{Linacre} = \frac{500 \frac{T_{med} + (0,006H)}{100 - (L)} + 15 (T_{med} - T_o)}{(80 - T_{med})}$, sendo Tmed: Temperatura média (°C); H: Altitude (m), para a localidade; L: Latitude (°S); para a localidade; e To: Temperatura de Orvalho (°C).

A estimativa da ET segundo a equação de Turc, melhorada e calibrada por Silva Junior, (2017) para o Município de Marabá, está na equação $Etp_{Marabá} = (0,3922) \cdot (T_{med})^{0,732} \cdot (R_s)^{0,698} \cdot (UR)^{-0,494} \cdot (V)^{0,092}$, sendo Tmed: Temperatura média (°C); Rs: Radiação solar (MJ. m²); UR: Umidade relativa (%); e V: Vento médio (m.s).

Calibração e Validação do SWAT

Na calibração do modelo, foi utilizado o software SWAT-CUP 5.0, aplicando o método de calibração SUFI2. A validação dos resultados de evapotranspiração, se deu a partir dos índices estatísticos recomendados pelo *International Precipitation Working Group* (IPWG) e descritos por Liu et al. (2013), replicado por Alves et al. (2011) e Serrão et al. (2016).

O coeficiente de correlação de Pearson (r) mede o grau da correlação e a direção dessa correlação. Este coeficiente assume valores entre -1 e 1. Tem-se $R = \frac{\sum(X - \bar{X}) \cdot (Y - \bar{Y})}{\sqrt{\sum(X - \bar{X})^2 \cdot \sum(Y - \bar{Y})^2}}$. O r² é definido como a relação que mede a proporção da variação total da variável dependente que é explicada pela variação da variável independente, notando-se isso na equação $R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{Y}_i - \bar{Y})^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}$.

O coeficiente de eficiência de Nash-Sutcliffe-NS inicialmente utilizado para avaliar o desempenho de modelos hidrológicos (NASH et al., 1970), também é eficiente na calibração de estimada de precipitação por satélite e precipitação observada (GUILHON et al., 2007). O coeficiente de eficiência pode variar entre negativo infinito a 1, sendo o valor 1 indicativo de um perfeito ajuste. Conforme Silva et al. (2008), quando o valor do NS resultar maior que 0,75, o desempenho do modelo é considerado bom. Para valores de NS entre 0,36 e 0,75, o desempenho é considerado aceitável, enquanto valores de NS inferiores a 0,36 fazem com que o modelo seja julgado como inaceitável.

Para este estudo considerou-se como excelentes valores de NS acima de 0,90 em que: $\overline{EVAP\bar{O}}_{OBS}$, é a evapotranspiração observada (Turc e Linacre) e $\overline{EVAP\bar{O}}_{EST}$, é a evapotranspiração estimada pelo modelo SWAT: $NS = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (EVAP\bar{O}_{EST} - EVAP\bar{O}_{OBS})^2}{\sum_{i=1}^n (EVAP\bar{O}_{OBS} - \overline{EVAP\bar{O}}_{OBS})^2}$. O índice de concordância de Willmott (IC) mede o grau em que o sedimento estimado pelo modelo SWAT se aproxima do sedimento observado na estação fluvial. Este índice varia de zero a um, sendo zero, nenhuma concordância e um, concordância perfeita e é dado por $IC = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (EVAP\bar{O}_{EST} - EVAP\bar{O}_{OBS})^2}{\sum_{i=1}^n (|EVAP\bar{O}_{EST} - \overline{EVAP\bar{O}}_{OBS}| + |EVAP\bar{O}_{OBS} - \overline{EVAP\bar{O}}_{OBS}|)^2}$.

O coeficiente de U (Theil) consiste em uma medida qualitativa de precisão, ao compara os dados estimados com os dados observados (SPENCER, 1993). Assim, quando U > 1, o erro da estimativa é maior que o observado, superestimando o real. U < 1, o erro da estimativa é menor que o observado, subestimando o

real. $U \cong 0$, melhor será o resultado dos dados estimados em relação ao medido. Propõe-se $U =$

$$\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (EVAPRO_{EST} - EVAPRO_{obs})^2}{(\sum_{i=1}^n EVAPRO_{obs})^2}}$$

Estatística não paramétrica

Com o objetivo de analisar se existe influência da dinâmica de uso e cobertura do solo sobre a evapotranspiração, foi utilizado o software XLSTAT, onde foi realizado os teste de tendência de Mann-Kendall no intuito de saber se existe tendência na série de evapotranspiração modelada pelo SWAT, foi utilizado ainda, o teste de homogeneidade de Pettitt, sendo possível detectar (caso exista tendência na série) em qual período (dia/mês/ano) da série houve uma quebra na tendência (SANTOS et al., 2016).

Existem vários métodos estatísticos disponíveis para testar a estacionariedade de séries temporais em meteorologia e hidrologia, dentre eles, destacam-se os testes não paramétricos de Mann-Kendall (MANN, 1945; KENDALL, 1975) e Spearman Rho (LEHMANN, 1975; SNEYERS, 1990). De acordo com Wang et al. (2005), o teste de tendência para séries anuais nos dá uma visão global da mudança nos processos de vazão.

Testes de tendência

O teste de Mann-Kendall consiste em um teste estatístico não paramétrico aplicado na identificação de tendências significativas de longo prazo, é comumente utilizado em análises de séries meteorológicas, demonstrando bastante robustez quanto aos desvios de normalidade e não-estacionariedade dos valores de uma série (SANCHES et al., 2013; AHMAD et al., 2015).

Para um conjunto de dados, $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$, com $n > 4$, em que n é o número de pontos de dados para a comprovação da hipótese nula H_0 (onde não há tendência positiva nem negativa na série) ou de hipótese alternativa H_1 (onde há tendência positiva ou negativa na série). As equações matemáticas para o cálculo das estatísticas do teste de Mann-Kendall S e $V(S)$, e padronização a estatística do teste Z são os seguintes: Através da consideração da hipótese nula (H_0), temos o somatório de x_j e x_k que são as séries de observações temporais em ordem cronológica, n é o comprimento da série temporal: $S =$

$$\sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sign}(x_j - x_k), \text{ onde } \text{sign}(x_j - x_k) = \begin{cases} 1 & \text{se } x_j - x_k > 0 \\ 0 & \text{se } x_j - x_k = 0 \\ -1 & \text{se } x_j - x_k < 0 \end{cases}$$

Partindo da premissa de que a hipótese H_0 seja verdadeira, é possível mostrar que S é normalmente distribuída usando a variância de S : $V(S) = \frac{1}{18} [n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^g t_p(t_p-1)(2t_p+5)]$, onde 'n' é número de observações, g é o número de grupos vinculados (um grupo amarrado é um conjunto de dados de amostra com o mesmo valor) e t_p é o número de observações iguais no grupo p .

Logo a estatística Z do teste de Mann-Kendall foi, então, calculada: $Z(MK) =$

$$\begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{VAR(S)}} & \text{se } S > 0 \\ 0 & \text{se } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{VAR(S)}} & \text{se } S < 0 \end{cases}, \text{ onde o valor positivo de } Z \text{ indica uma tendência ascendente, enquanto um } Z$$

negativo indica uma tendência descendente. O nível de significância α adotado é de $\alpha = 0,05 = 5\%$ (para valores menores que 1,96, aceita-se a hipótese nula) para o teste de Mann-Kendall. Se a probabilidade p do teste de Mann-Kendall for menor que o nível α , $p < \alpha$, uma tendência estatisticamente significativa existe, enquanto, um valor de $p > \alpha$, confirma uma tendência insignificante.

O teste de Spearman rho é outro método não paramétrico baseado em classificação utilizado para análise de tendências (YUE et al., 2002; SHADMANI et al., 2012; AHMAD et al., 2015; ZHANG, 2015). Neste teste, assume-se que os dados de séries temporais são independentes e identicamente distribuídos, a hipótese nula (H_0) novamente indica nenhuma tendência ao longo do tempo e a hipótese alternativa (H_1) é que uma tendência existe crescentes ou decrescente na série. No teste estatístico D_{sr} é a estatística padronizada de Z_{sr} , são definidas como $D_{sr} = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^n (R_i - i)^2}{n(n^2 - 1)}$; $Z_{sr} = D_{sr} \sqrt{\frac{n-2}{1-D_{sr}^2}}$, onde R_i é a classificação das observações de i ; n é o tamanho da série histórica. O nível de significância adotado foi o mesmo proposto no teste de Mann-Kendall.

Ponto de mudança

Há uma variedade métodos estatísticos para a detecção de um ponto de mudança em uma série temporal (SHARKEY et al., 2014). Neste estudo, foi utilizado o teste não paramétrico proposto por Pettitt (1979) para detectar a ocorrência da mudança abrupta. O nível de significância adotado foi de 5%. O teste de Pettitt utiliza uma versão do teste de Mann-Whitney $U_{t,T}$, o qual verifica se duas amostras X_1, \dots, X_t e X_{t+1}, \dots, X_n , são da mesma população ou não (PENNEREIRO et al., 2012). A estatística de teste conta o número de vezes que o valor da primeira amostra excede o valor da segunda amostra.

A hipótese nula (H_0) do teste de Pettitt admite ausência de um ponto de mudança na série (ULIANA et al., 2015), contra a alternativa (H_1) de existe um ponto de mudança. A estatística não paramétrica é definida como $K_T = \max_{1 \leq t \leq T} |U_{t,T}|$, onde $U_{t,T} = \sum_{i=1}^t \sum_{j=t+1}^T \text{sgn}(X_i - X_j)$, em que: $\text{sgn}(x) =$

$$\begin{cases} 1 & \text{se } x > 0 \\ 0 & \text{se } x = 0 \\ -1 & \text{se } x < 0 \end{cases}$$

Logo, a estatística $U_{t,T}$ é calculada para valores de $1 \leq t \leq T$, e a estatística K_T do teste é o

máximo valor absoluto de $U_{t,T}$.

Essa estatística localiza o ponto em que houve uma mudança brusca na média de uma série temporal (PENNEREIRO et al., 2012), onde sua significância é obtida através de $P \cong 2 \exp\left(\frac{-6K_T^2}{T^3 + T^2}\right)$, onde P é o nível de significância; K_T é o valor crítico; T é o número de anos da série histórica. Quando P é menor do que o nível de significância específica neste estudo (0,05), a hipótese nula é rejeitada.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Calibração do modelo SWAT

Na etapa de calibração do SWAT foi utilizado o método SUFI2 no SWAT-CUP. Como foi modelado 41 anos hidrológicos (1969-2010), utilizou-se cinco anos (2010 a 2015) para calibrar o modelo. Na tabela 1, têm-

se os parâmetros que foram calibrados no SWAT-CUP. Após a calibração do SWAT o modelo foi novamente rodado com os novos parâmetros e assim foi obtido uma simulação já calibrada para a bacia de estudo. Os parâmetros mostrados na tabela 1 representam variáveis de difícil medição, e existem poucas informações disponíveis acerca dessas variáveis para bacias hidrográficas brasileiras, principalmente para as bacias amazônicas.

Tabela 1: Parâmetros calibrados no SWAT-CUP.

Ranking	Parâmetro	Descrição	Faixa de variação
1	Lat_Time	Tempo necessário para o retorno do fluxo lateral (dias)	0 a 180
2	Esco	Fator de compensação da taxa de evaporação de água no solo	0 a 1
3	Gwqmin	Nível limite da água no aquífero raso para a ocorrência de fluxo de base (mm)	0 a 5.000
4	Revapmn	Profundidade limite de água no solo para a ocorrência de ascensão da água à zona não saturada (mm)	0 a 1.000
5	Alpha_BF	Constante de recessão do escoamento de base (dias)	0 a 1
6	Gw_delay	Intervalo de tempo necessário para a recarga do aquífero (dias)	0 a 500
7	CN2	Curva número inicial para condição de umidade AMC II (adm.)	35 a 90
8	SURLANG	Coefficiente de retardamento do escoamento superficial direto (dias)	0,05 a 24

Comparação da Evapotranspiração simulada (SWAT) e calculada (Linacre e Turck)

Na figura 2 é observado a sazonalidade dos três métodos de obtenção da evapotranspiração, sendo SWAT e Turck que melhor representaram o ciclo sazonal, em que na estação mais chuvosa (Dez-Mai) há uma evapotranspiração menor, que na estação seca (Jun-Nov) por conta do aumento da radiação disponível para os processos de fotossíntese e evaporação da água líquida livre. No cálculo feito pelo método de Linacre, a 'curva' da evapotranspiração é menos sinuosa, uma vez que esse método leva em consideração apenas temperaturas, latitude e altura do local estudado. Porém, nos meses de junho e setembro foram os meses com menores diferenças entre as estimativas.

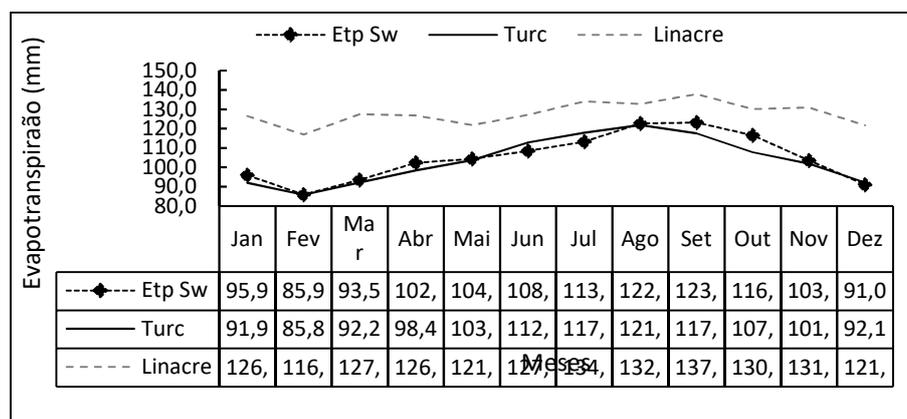


Figura 2: Evapotranspirações mensais (SWAT - Linacre - Turck).

Segundo Olanrewaju et al. (2018), a variação sazonal da evapotranspiração simulada com SWAT se ajusta bem a regiões de climas tropicais, por conta da disponibilidade de energia e umidade. Silva et al. (2018) comparou a ET do SWAT, com os métodos de Linacre e Thornthwaite para uma região heterogênea no sudeste do Pará, e observou que o modelo SWAT conseguiu simular bem a ET, mesmo com usos múltiplos de cobertura do solo.

Chun et al. (2018) comparou a evapotranspiração simulada do SWAT com a ET do produto SSEBop para uma pequena bacia heterogênea no sudeste do Novo México, e observou que o SWAT é eficaz nesse

tipo de simulação para bacias áridas. Silva Junior et al. (2017) comparou a ET por diversos métodos e observou que o método de Turc é o mais adequado para a região sudeste do Pará, por levar em conta várias variáveis que estão correlacionadas com o processo de evapotranspiração.

Validação da Evapotranspiração

Na figura 3, foi feita a correlação entre as estimativas SWAT-Linacre, e aplicado os índices estatísticos de validação do modelo. Foi observado que os coeficientes de correlação e determinação apresentaram um bom desempenho entre as duas estimativas, ambos a cima de 0,70. Para o índice de Nash-Sutcliffe e índice de concordância de Willmott, as estimativas obtiveram desempenhos excelentes segundo a literatura, com valores a cima de 0.95. No coeficiente U de theil Linacre e SWAT tiveram um valor muito próximo de zero, com 0,17 é considerado um excelente desempenho do modelo, levando em conta Linacre como referência.

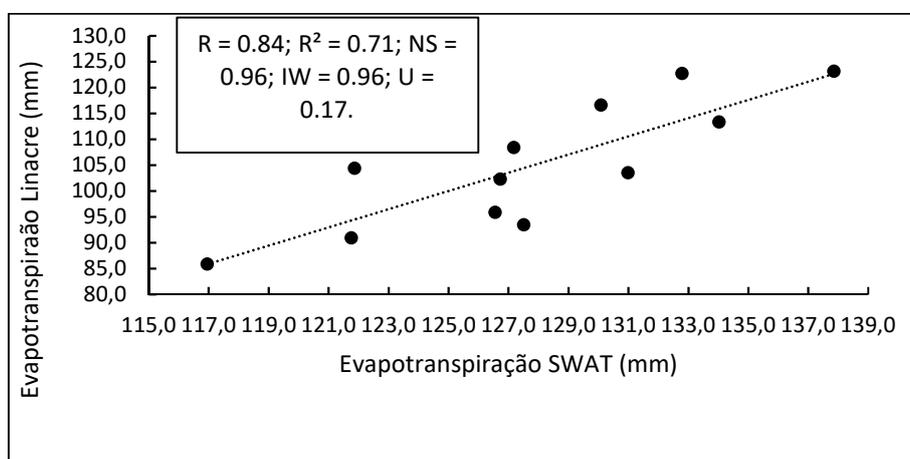


Figura 3: Correlação entre as Evapotranspirações estimadas pelo SWAT e Linacre.

A ET calculada a partir de método de Linacre é bem utilizada por se tratar de um método que exige apenas o conhecimento da altitude e os dados de temperatura média do ar e temperatura do ponto de orvalho, sobre isso Henrique et al. (2007) considerou o método de Linacre eficaz em calcular a ET em regiões que se tem poucas informações meteorológicas, e ressalta que o método superestima a ET durante o ano todo. Na figura 4, é observado a correlação entre as estimativas de evapotranspiração entre SWAT e Turc, e aplicado os índices estatísticos de validação do modelo.

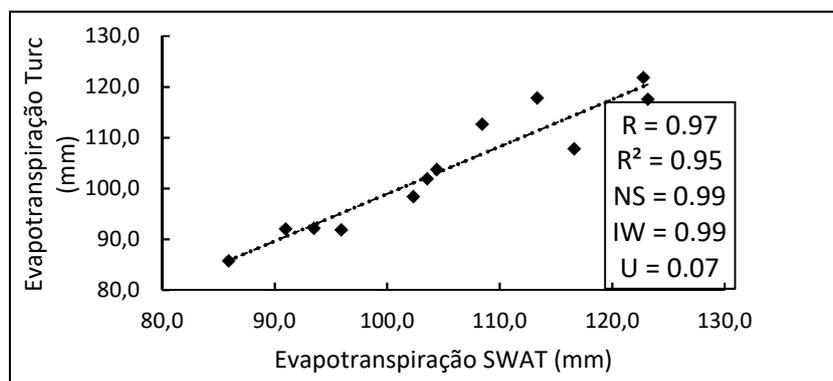
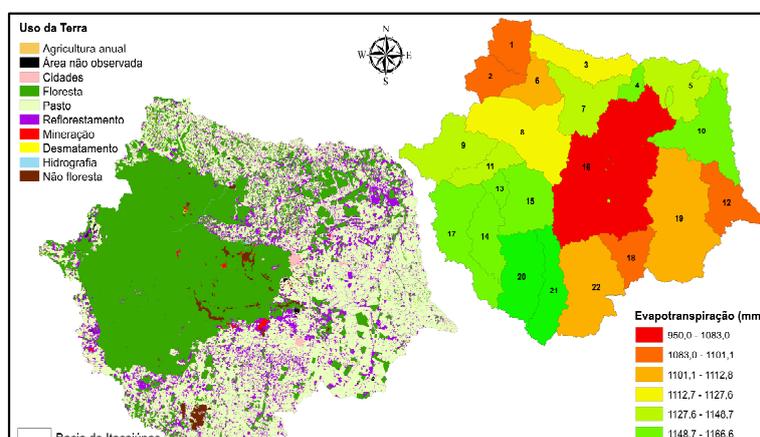


Figura 4: Correlação entre as Evapotranspirações estimadas pelo SWAT e Turc.

É perceptível que os resultados da correlação SWAT-Turc tiveram um melhor desempenho que SWAT-Linacre, haja vista que são necessários mais dados observados para a estimativa de evapotranspiração por Turc. Além da mesma utilizar dados de radiação, o que deixa a estimativa mais robusta (MACHADO et al., 2014). Para os índices estatísticos, os coeficientes de correlação e determinação apresentaram um bom valor entre as duas estimativas, ambos acima de 0,95. O índice de Nash-Sutcliffe e índice de concordância de Willmott obtiveram excelentes desempenhos, com valores acima de 0.95. Já o coeficiente U de Theil entre SWAT-Turc tiveram um valor muito próximo de zero, com erro de 0,07, sendo uma excelente aproximação entre as estimativas.

Variabilidade espacial da ET com a dinâmica de uso e cobertura da terra na bacia

Na figura 5 é observado a evapotranspiração anual por sub-bacia e sua associação com o uso e cobertura do solo na bacia hidrográfica do Rio Itacaiúnas, é perceptível que a sub-bacia 16 é a que menos evapotranspira, nesse sentido comparando ao uso do solo, observamos que existe uma dinâmica de uso do solo acentuada na sub-bacia 16 com múltiplos usos e cobertura. Os maiores valores de evapotranspiração estão nas sub-bacias com cobertura do solo predominantemente de floresta e reflorestamento sendo estas (20, 21, 11, 17, 5, 10) entre outras. Já as sub-bacias que predominam o uso da terra em pastagem (22, 16, 16, 19, 12, 1 e 2) obtiveram valores intermediários de evapotranspiração de 1083,0mm a 1112,8mm. Logo, é perceptível que além das componentes atmosféricas a dinâmica de uso e cobertura do solo exerce influência sobre a evapotranspiração na bacia do Rio Itacaiúnas.



Olanrewaju et al. (2018) observou a ET através do SWAT em uma bacia de 2189km² na Austrália, com uma alta dinâmica de uso e cobertura da terra, e observou que essa variáveis e extremamente sensível a alterações antrópicas na dinâmica de uso e cobertura da terra, haja visto, as alterações no balanço de energia. Ou seja, ao retirar a cobertura vegetal nativa e substituí-la por pastagem, por exemplo, haverá uma mudança no balanço de energia, em que a energia que antes era utilizada para evapotranspirar (calor latente), agora é utilizada para aquecer a superfície (calor sensível).

Chun et al. (2018) encontrou resultados semelhantes em uma bacia semiárida no Novo México (USA), e afirma que o decaimento da ET local se dá a retirada da floresta nativa para pastagem utilizada na agropecuária. No sentido de verificar se existe tendência na série de evapotranspiração modelada pelo SWAT, a Figura 6 demonstra a variação na evapotranspiração em duas sub-bacias com diferentes usos da terra, uma com floresta predominando no uso e outra com pasto sendo estas 11 e 12 respectivamente.

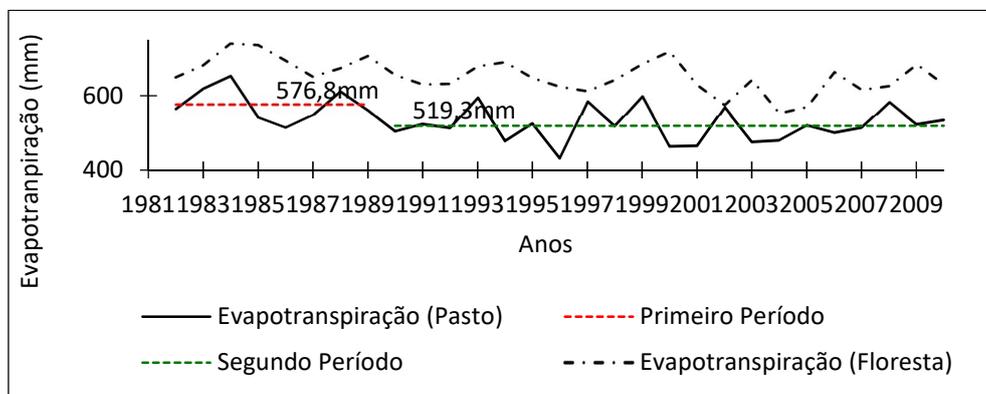


Figura 6: Mudança da média de evapotranspiração por sub-bacia com predominância de uso da terra, pasto e floresta.

A evapotranspiração para a sub-bacia com predominância de floresta (11) não apresentou tendência na sua média e é uma série homogenia, haja visto que as áreas de florestas da bacia do Itacaiúnas são áreas de preservação florestal, não havendo atividades antrópicas nessas sub-bacias. Logo, é esperado uma série homogenia. Já na sub-bacia 12 que predomina o uso de pastagem, há uma ‘quebra’ na série de evapotranspiração, sendo que de 1980 a 1989 a evapotranspiração média é de 576,8mm e a partir de 1990 a evapotranspiração média decaiu para 519,3mm, uma perda de 57,5mm de água que deixou de ser inserida na atmosfera.

Esse decaimento na evapotranspiração média é explicado pelo aumento no desmatamento na região sudeste do Pará, concordando com os resultados de Olanrewaju et al. (2018) e Chun et al. (2018). Os relatórios do INPE referente as décadas de 70 e 80 evidenciam que o estado do Pará em 1978 já era o quarto estado mais desmatado, com 1,8% de floresta retirada (PRODES, 1989), intensificado com a ‘corrida do ouro’, iniciada na década de 1980 na região, no famoso garimpo que ficou conhecido como Serra Pelada (Silva, 2018), na região sudeste do estado do Pará, municípios de Curionópolis, onde está a sub-bacia 16 (figura 5) na bacia hidrográfica do rio Itacaiúnas. O desmatamento na região foi novamente intensificado na década de 90 com a exploração agrícola, como evidencia Sousa et al., (20017). Nesse sentido entende-se que, onde atualmente são áreas de pastagem, anteriormente eram Floresta Nativa Amazônica.

Relação entre a evapotranspiração simulada (SWAT) e a evaporação medida (piché)

Na busca de validação da evapotranspiração simulada pelo SWAT, e em rigor da curiosidade científica, relacionou-se os dados de evaporação medida na estação de meteorológica de Marabá através do evaporímetro de piché com a evapotranspiração simulada com SWAT e utilizou-se os índices estatísticos de

validação. Foi constatado que, a correlação entre as duas variáveis é alta e os índices estatísticos de validação foram satisfatórios, como é observado na figura 8.

Tal resultado pode ser explicado pela forma de cálculo da evapotranspiração dentro do modelo, bem como a alta dinâmica de uso da terra da bacia em questão. Haja visto, que mais de 50% da área da bacia é dominado por pastagem, e com isso uma evapotranspiração menor, Silva Junior et al. (2017) observou essa relação entre a dinâmica de uso do solo e a evapotranspiração para esta área de estudo e concluiu que a fragmentação na paisagem da bacia tem um auto grau de significância na evapotranspiração mensal.

Ou seja, quanto maior a dinâmica na paisagem menos a evapotranspiração será explicada pela floresta e sim pelo pasto e como às áreas de pastagem tem baixa evapotranspiração, essa relação entre evaporação da água livre e a transpiração dos vegetais é maior. Outro aspecto importante nesse sentido, é que a estação de Marabá está localizada na região urbana do município que é cercado por áreas de pastagem (observar sub-bacia 5). Nesse sentido, entende-se que a evapotranspiração e a evaporação são.

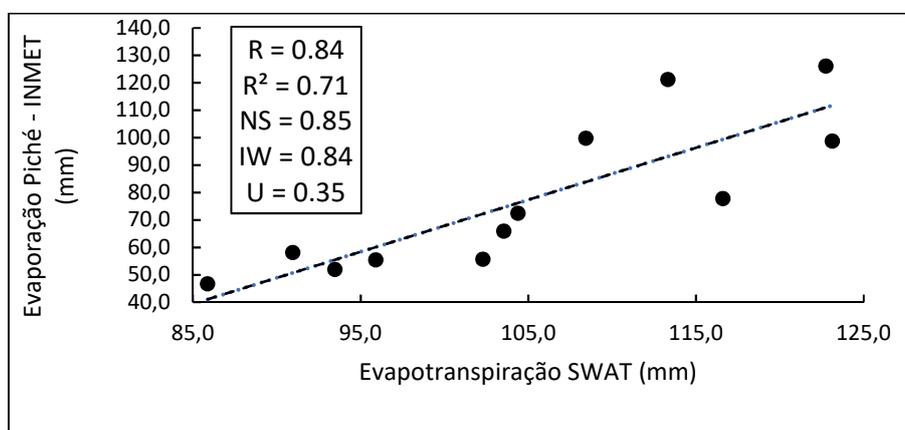


Figura 8: Relação evapotranspiração real simulada pelo SWAT e evaporação medida por piché (INMET) e sua validação.

CONCLUSÕES

Com a parametrização do modelo, foi possível observar que alguns parâmetros são mais influenciáveis aos processos hídricos que outros, o que nos deu a possibilidade de melhorar a simulação na bacia do Rio Itacaiúnas. Na validação e comparação da evapotranspiração estimada com SWAT e os métodos de Linacre e Turc, observou-se que todos os índices estatísticos aplicados a evapotranspiração simulada com SWAT tiveram um bom desempenho em relação aos outros dois métodos de estimar evapotranspiração. Porém, o método de Turc foi melhor, haja visto é levado em consideração mais variáveis meteorológicas. Na validação da evapotranspiração real com a evaporação de piché, todos os índices estatísticos obtiveram bons resultados.

Para a análise de tendência e homogeneidade da evapotranspiração por uso da terra, foi detectado que a evapotranspiração se mantém homogênea na floresta e com tendência negativa nas áreas de pastagem, haja visto o aumento do desmatamento na Amazônia. Visto isso, o modelo SWAT teve um bom desempenho em simular a evapotranspiração e outros processos hidrológicos para a bacia hidrográfica do Rio Itacaiúnas. O modelo SWAT está cada vez mais inserido no contexto científico e tem grande potencial para ser melhor

utilizados em bacias hidrográficas pouco monitoradas, o que se faz necessário na Amazônia Brasileira com baixa densidade de estações fluviométricas e meteorológicas. Os resultados encontrados podem servir como um viés para os tomadores de decisão no intuito de criar políticas públicas e planejar o manejo sustentável de bacias amazônicas.

REFERÊNCIAS

ADGER, W. N.. Vulnerability. **Global Environmental Change**, v.16, n.3, p.268-281, 2006.

AHMAD, I.; TANG, D.; WANG, T.; WANG, T.; WAGAN, B.. Precipitation Trends over Time Using Mann-Kendall and Spearman's rho Tests in Swat River Basin, Pakistan. **Advances in Meteorology**, v.15, n.2, p.1-15, 2015.

ALVES, E. D. L.; VECCHIA, F. A. S.. Análise de diferentes métodos de interpolação para a precipitação pluvial no estado de Goiás. **Acta Scientiarum Human and Social Sciences**, v.33, n.2, p. 193-197, 2011.

ARNOLD, J. G.; MORIASI, D. N.; GASSMAN, P. W.; ABBASPOUR, K. C.; WHITE, M. J.; SRINIVASAN, R.. SWAT: Model use calibration and validation. **Transactions of ASABE**, v.55, n.4, p.1494-1508, 2012.

ARNOLD, J. G.; SRINIVASAN, R.; MUTTIAH, R. S.; WILLIAMS, J. R.. Large area hydrologic modeling and assessment: Part I: Model development. **Journal of the American Water Resources Association**, v.34, n.1, p.73-89, 1998.

CHUN, J. A.; BAIK, J.; KIM, D.; CHOI, M.. A comparative assessment of SWAT-model-based evapotranspiration against regional-scale estimates. **Ecological Engineering**, v.122, p.1-9, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2018.07.015>

COHEN, J. C.; BELTRÃO, J. C.; GANDU, A. W.; SILVA, R. R.. Influência do desmatamento sobre o ciclo hidrológico na Amazônia. **Ciência e Cultura**, v.59, n.3, p.36-39, 2007.

GUILHON, L. G. F.; ROCHA, V. R.. Comparação de Métodos de Previsão de Vazões Naturais Afluentes a Aproveitamentos Hidroelétricos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.12, n.3, p.13-20, 2007.

HALLAK, R.; PEREIRA FILHO, A. J.. Metodologia para Análise de Desempenho de Simulações de Sistemas Convectivos na Região Metropolitana de São Paulo com o Modelo ARPS: Sensibilidade a Variações com os Esquemas de Advecção e Assimilação de Dados. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.26, n.4, p.591-608, 2011.

HENRIQUE, F. A. N.; DANTAS, R. T.. Estimativa da evapotranspiração de referência em Campina Grande, Paraíba. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.11, n.6, p.594-599, 2007.

KENDALL, M. G.. **Rank correlation measures**. London: Charles Griffin, 1975.

KINTISCH, E.. Improved monitoring of rain forests helps Pierce haze of deforestation. **Science**, v.316, n.5824, p.536-537, 2007.

LEHMANN, E. L.. **Non parametrics, Statistical Methods Based on Ranks**. San Francisco: Holden-Day, 1975.

LI, M.; SHAO, Q.; ZHANG, L.; CHIEW, F. H. S. A.. New regionalization approach and its application to predict flow duration curve in ungauged basins. **Journal of Hydrology**, v.389, n.2, p.137-145, 2010.

LIU, Z.; OSTRENGA, D.; TENG, W. L.; KEMPLER, S. J.. **Implementing the International Precipitation Working Group (IPWG) Validation Statistics in Online Tools to Intercompare and Characterize Satellite-derived Global Precipitation Products**. San Francisco: Fall Meeting, 2013.

MALHI, Y. J.; ROBERTS, T.; BETTS, R. A.; KILLEEN, T. J.; LI, W.; NOBRE, C. A.. Climate change, deforestation, and the fate of the Amazon. **Science**, v.319, n.4, p.169-172, 2008.

MANN, H. B.. Non-parametric test against trend. **Econometrika**, v.13, n.3, p.245-259, 1945.

MELO NETO, J. O.; SILVA, A. M.; MELLO, C. R.; MELLO JÚNIOR, A. V.. Simulação hidrológica escalar com o modelo SWAT. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.19, n.1, p.177-188, 2014.

NASH, J. E.; SUTCLIFFE, J. V.. River flow forecasting through conceptual models: a discussion of principles. **Journal of Hydrology**, v.10, p.282-290, 1970.

NEITSCH, S. L.; ARNOLD, J. G.; KINIRY, J. R.; WILLIAMS, J. R.. **Soil and Water Assessment Tool: Theoretical documentation version 2009**. Texas: 2011.

NEITSCH, S. L.; ARNOLD, J. R.; KINIRY, J. R.; WILLIAMS, J. J.. **Soil and water assessment tool: theoretical documentation: version 2005**. Texas: 2005.

NEITSCH, S. L.; ARNOLD, J. G.; WILLIAMS, J. R.. **Soil and water assessment tool: Input/output file documentation: Version 2005**. Texas: 2005.

OLANREWAJU, O.; ABIODUN, H. G.; POST, V. E. A.; OKKE, B.. Comparison of MODIS and SWAT evapotranspiration over a complex terrain at different spatial scales. **Hydrology and Earth System Sciences**, v.22, p.2775-2794, 2018. DOI: <https://doi.org/10.5194/hess-22-2775-2018>

PENEREIRO, J. C.; FERREIRA, D. H. L.. Testes estatísticos e questões ambientais no ensino de engenharia: uma aplicação em climatologia. **Revista de Ensino de Engenharia**, v.31, n.2, p.25-44, 2012.

- PETTITT, A. N.. A non-parametric approach to change point problem. **Journal of Applied Statistics**, London, v.28, n.2, p.126-135, 1979.
- PRODES. **Monitoramento do desmatamento da Floresta Amazônica brasileira por satélite**: Histórico de desmatamento. São José dos Campos: PRODES, 2019.
- PRODES. **Monitoramento do desmatamento da Floresta Amazônica brasileira por satélite**: Taxas anuais de desmatamento: Estatística. São José dos Campos: PRODES, 2019.
- SANCHES, F. O.; VERDUM, R.; FISCH, G.. Estudo de tendência de chuvas de longo prazo. **Ambiente & Água: An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v.8, n.3, p.214-228, 2013.
- SANTOS, C. A.; LIMA, A. M. M.; FARIAS, M. H. C. S.; AIRES, U. R. V.; SERRÃO, E. A. O.. Análise Estatística da não Estacionariedade de Séries Temporais de Vazão Máxima Anual diária na Bacia Hidrográfica do Rio Pardo. **Holos**, v.7, p.179-193, 2016.
- SANTOS, R. S.; COSTA, L. C.; SEDIYAMA, G. C.; LEAL, B.G.; OLIVEIRA, R. A.; JUSTINO, F. B.. Avaliação da relação seca/produktividade agrícola em cenário de mudanças climáticas. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.26, p.313-321, 2011.
- SERRÃO, E. A. O.; LIMA, A. M. M.; SOUSA, F. A. S.; FERREIRA, T. R.; SANTOS, C. A.; SILVA JUNIOR, J. A.. Intensidade Pluviométrica na calha do Rio Solimões: Avaliando a Seca de 2010 na Amazônia. **Acta Geográfica**, v.11, p.1-16, 2017.
- SERRÃO, E. A. O.; WANZELER, R. T. S.; SANTOS, C. A.; GONÇALVES, L. J. M.; LIMA, A. M. M.; ROCHA, E. J. P.. Avaliação Estatística entre as Estimativas de Precipitação da Constelação GPM com TRMM: Uma Análise a Bacia Hidrográfica do Rio Solimões. **Revista Brasileira de Climatologia**, v.18, p.256-275, 2016.
- SHADMANI, M.; MAROFI, S.; ROKNIAN, M.. Trend analysis in reference evapotranspiration using Mann-Kendall and Spearman's Rho tests in arid regions of Iran. **Water Resources Management**, v.26, n.1, p.211-224, 2012.
- SHARKEY, P.; KILLICK, R.. **Nonparametric Methods for Online Change point Detection**. Lancaster: Lancaster University, 2014.
- SILVA, A. K. L.; SOUSA, A. M. L.; SANTOS, J. T. S.; VILLELA, J. M.; MARTORANO, L. G.; CRESTANA, S.. Estimation of sediment production in oil palm expansion areas in the Amazon. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.22, p.344-348, 2018. DOI: <http://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v22n5p344-348>
- SILVA, M. T.; SILVA, V. P. R.; SOUZA, E. P.; ARAÚJO, A. L.. Aplicação do modelo SWAT na estimativa da vazão na bacia hidrográfica do submédio Rio São Francisco. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.8, n.6, p.1615-1627, 2015.
- SILVA, P. M. O.; MELLO, C. R.; SILVA, A. M.; COELHO, G.. Modelagem da hidrógrafa de cheia em uma bacia hidrográfica da região Alto Rio Grande. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.12, n.3, p.258-265, 2008.
- SILVA, V. P. R.; SILVA, M. T.; BRAGA, C. C.; SINGH, V. P.; SOUZA, E. P.; SOUSA, F. A. S.; HOLANDA, R. M.; ALMEIDA, R. S. R.; BRAGA, A. C. R.. Simulation of stream flow and hydrological response to land-cover changes in a tropical river basin. **Catena**, v.162, p.166-176, 2018.
- SNEYERS, R.. **On the statistical analysis of series of observations**. Genebra: World Meteorological Organization, 1990.
- SOUZA, L. M.; ADAMI, M.; LIMA, A. M. M.; RAMOS, W. F.. Avaliação do uso e cobertura da terra em Paragominas e Ulianópolis-PA, utilizando dados do projeto terraclass. **Revista Brasileira de Cartografia**, v.69, p.421-431, 2017.
- SPENCER, D. E.. Developing a Bayesian vector autoregressive forecasting model. **International Journal of Forecasting**, v.9, p.407-421, 1993.
- STICKLER, C. M.; COE, B. M. T.; COSTAC, M. H.; NEPSTADA, D. C.; MCGRATH, D. G.; DIAS, L. C. P.; RODRIGUES, H. O.; SOARES FILHO, B. S.. Dependence of hydropower energy generation on forests in the Amazon Basin at local and regional scales. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v.110, n.23, p.9601-9606, 2013.
- THEIL, H.. **Applied Economic Forecasting**. Amsterdam: 1966.
- TUCCI, C. E. M.. **Hidrologia: Ciência e aplicação**. 4 ed. Porto Alegre: EDUEFRGS, 2009.
- TUCCI, C. E. M.. **Modelos Hidrológicos**. 2 ed. Porto Alegre: EDUEFRGS, 2005.
- ULIANA, E. M.; SILVA, D. D.; ULIANA, E. M.; RODRIGUES, B. S.; CORRÊDO, L. P. C.. Análise de tendência em séries históricas de vazão e precipitação: uso de teste estatístico não paramétrico. **Ambiente & Água**, v.10, n.1, 2015.
- WILLMOTT, C. J.; CKLESON, S. G.; DAVIS, R. E.. Statistics for evaluation and comparisons of models. **Journal of Geophysical Research**, Ottawa, v.90, n.5, p.8995-9005, 1985.
- YUE, S.; PILON, P.; CAVADIAS, G.. Power of the Mann-Kendall and Spearman's rho tests for detecting monotonic trends in hydrological series. **Journal of Hydrology**, v.259, n.4, p.254-271, 2002.
- ZHANG, Y.. Analysis of Changes in Precipitation and Drought in Aksu River Basin, Northwest China. **Advances in Meteorology**, v.2015, 2015.