



## **Aplicação de um modelo matemático como uma ferramenta de subsídio ao planejamento e gestão de bacias hidrográficas**

**Henrique Haas<sup>1</sup>, Bruna Schoninger<sup>2</sup>, Luiza Loss<sup>3</sup>, Marielle Medeiros<sup>4</sup>, Maria do Carmo Cauduro Gastaldini<sup>5</sup>**

<sup>1</sup>Universidade Federal de Santa Maria (henrique.haas@hotmail.com)

<sup>2</sup>Universidade Federal de Santa Maria (brunaschoninger@gmail.com)

<sup>3</sup>Universidade Federal de Santa Maria (lossluiza@hotmail.com)

<sup>4</sup>Universidade Federal de Santa Maria (mariellers@yahoo.com.br)

<sup>5</sup>Universidade Federal de Santa Maria (mccarmocg@gmail.com)

### **Resumo**

A aplicação de modelos hidrológicos como ferramentas de subsídio ao planejamento e gestão dos recursos hídricos tem sido crescente ao longo dos últimos anos. Os modelos hidrológicos e de qualidade da água surgem como uma alternativa ao monitoramento de bacias hidrográficas, os quais podem demandar considerável necessidade de tempo e recursos financeiros. Assim, o presente trabalho busca realizar o diagnóstico qualitativo da bacia hidrográfica do Vacacaí Mirim, localizada no centro do estado do Rio Grande do Sul, através da aplicação do modelo hidrológico *Soil and Water Assessment Tool* (SWAT). Para a aplicação do modelo SWAT, este foi alimentado com dados climatológicos, mapas de solo, uso do solo e declividade. O diagnóstico qualitativo da bacia hidrográfica do Vacacaí Mirim foi realizado quanto aos parâmetros de qualidade da água Fósforo, Nitrogênio, sedimentos e escoamento superficial, os quais foram comparados com as práticas de uso do solo da bacia hidrográfica, identificando-se práticas de uso da terra degradantes e áreas ambientalmente sensíveis. Através da avaliação do atual panorama de qualidade da água em escala de bacias hidrográficas através da aplicação de modelos matemáticos, é possível propor práticas sustentáveis de uso do solo que venham a mitigar a poluição hídrica e promover o desenvolvimento sustentável das áreas de estudo.

*Palavras-chave:* Planejamento. Gestão. Bacias hidrográficas. Modelo matemático. SWAT.

*Área Temática:* Recursos hídricos.

## **Mathematical model application as a tool to support watershed planning and management**

### **Abstract**

*The application of hydrological models as tools to subsidize the planning and management of water resources has been increasing in recent years. Hydrological and water quality models emerge as an alternative to basin monitoring, which may require considerable time and financial resources. Thus, the present work seeks to perform the qualitative diagnosis of the Vacacaí Mirim watershed, located in the center of the state of Rio Grande do Sul, through the application of the Soil and Water Assessment Tool (SWAT). For the application of the SWAT model, this was fed with climatological data, soil maps, land use and slope. The qualitative diagnosis of the Vacacaí Mirim basin was carried out in relation to the water quality parameters Phosphorus, Nitrogen, sediments and surface runoff, which were compared with*



*the land use practices of the hydrographic basin, identifying land use practices degrading and environmentally sensitive areas. Through the evaluation of the current water quality panorama at a watershed scale through the application of mathematical models, it is possible to propose sustainable land use practices that will mitigate water pollution and promote the sustainable development of the study areas.*

*Key words: Planning. Management. Watershed. Mathematical model. SWAT.*

*Theme Area: Water resources.*

## **1 Introdução**

A realização de estudos hidrológicos em bacias hidrográficas vem da necessidade de se compreender o funcionamento do balanço hídrico, os processos que controlam o movimento da água e os impactos de mudanças do uso da terra sobre a quantidade e qualidade da água (WHITEHEAD E ROBINSON, 1993). A importância de se adotar a bacia como unidade hidrológica está ligada ao fato de que suas características estão intimamente relacionadas com a produção de água. Dentro dos limites da bacia hidrográfica os processos naturais se integram e são refletidos no curso da água principal, o qual pode ser considerado o receptor final de poluentes.

Neste contexto, estudos de qualidade da água na escala de bacias hidrográficas são fundamentais no que tange ao monitoramento, gestão e uso racional dos recursos naturais, bem como na tomada de decisões por parte dos órgãos ambientais competentes com relação à identificação de áreas ambientalmente sensíveis e fontes poluidoras, de modo que soluções eficientes de controle e combate à poluição de corpos hídricos sejam tomadas. Reconhecida a importância de tais estudos, a aplicação de modelos matemáticos surge como uma ferramenta valiosa nesta abordagem e também como uma alternativa ao monitoramento extensivo e economicamente dispendioso da qualidade da água em bacias hidrográficas.

Devido a sua eficiência e custo-benefício, modelos de qualidade da água têm sido constantemente aplicados como uma ferramenta de suporte ao planejamento de bacias hidrográficas (TAYLOR et al., 2016). Pereira et al. (2014) ressaltam que a avaliação de impactos nos recursos hídricos consiste de uma das mais relevantes aplicações de modelos hidrológicos, os quais são ferramentas fundamentais para o planejamento e gestão de bacias hidrográficas.

Sendo assim, o presente trabalho objetiva aplicar o modelo hidrológico SWAT para realizar um diagnóstico qualitativo dos recursos hídricos da bacia hidrográfica do Vacacaí Mirim, contribuindo assim para o seu planejamento e gestão.

## **2 Metodologia**

### **2.1. Área de estudo**

A bacia hidrográfica do rio Vacacaí Mirim está situada na região central do estado do Rio Grande do Sul, entre as coordenadas geográficas 53° 46' 30" a 53° 49' 29" de longitude Oeste e 29° 36' 55" a 29° 39' 50" de latitudes Sul, abrangendo uma área total de 1145.7 km<sup>2</sup> (CASAGRANDE, 2004).

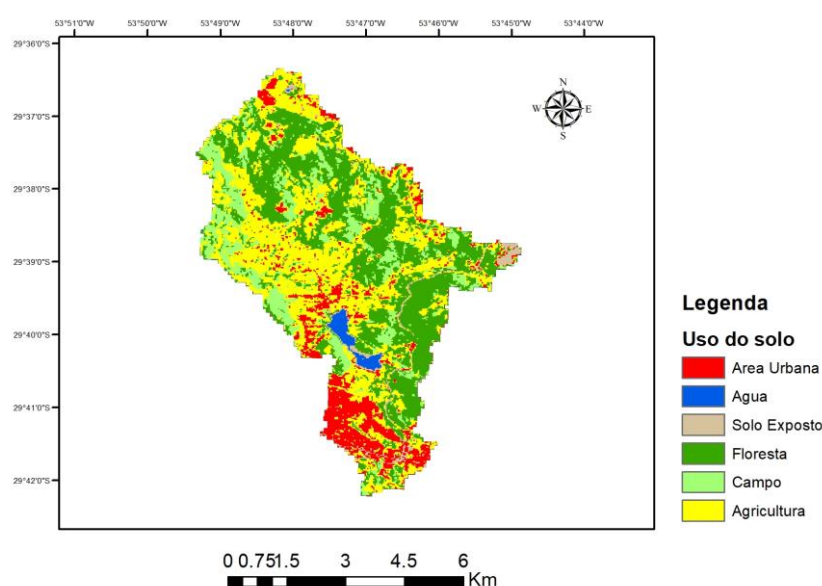
A área de estudo selecionada para o presente trabalho consiste de três sub-bacias da bacia hidrográfica do Vacacaí Mirim, as quais compreendem uma área de aproximadamente 36 Km<sup>2</sup>.



As classes de solos presentes na área de estudo, de acordo com o atual Sistema Brasileiro de Classificação de Solo (SIBCS, EMBRAPA 2006), são Argissolos Vermelhos Distróficos (Pvd10) e Neossolos Litólicos Eutróficos (RLe27). Na Figura 1 apresenta-se o mapa de uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica, o qual foi obtido através de um processo de classificação supervisionada de imagem com 30 metros de resolução, utilizando-se o *software* QGIS 2.6.1. As classes de uso do solo foram definidas com base em análise e observação de imagens de satélite da área de estudo.

Nota-se que predominam as áreas cobertas por floresta nativa, campo/pastagem e solo exposto, evidenciando-se uma bacia hidrográfica com características rurais. Além disso, é possível observar a presença de núcleos de urbanização em determinadas áreas da bacia hidrográfica.

Figura 1 - Uso e ocupação do solo da área de estudo



Na parte alta da bacia está localizado o reservatório de abastecimento público do Vacacaí Mirim, o qual conta com uma área inundada de 0.74 Km<sup>2</sup>, volume de 3.8 X 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> e capta água de uma área de aproximadamente 29 Km<sup>2</sup>, sendo responsável pelo abastecimento público de água de cerca de 30% da cidade de Santa Maria (PAIVA et al., 2006). Dentre os principais problemas observados na bacia do rio Vacacaí Mirim pode-se destacar o elevado grau de urbanização, sobretudo na parte média da bacia, na região de Santa Maria, o que tem acarretado contínuos problemas relacionados a enchentes e deterioração da qualidade da água.

Além deste, durante os períodos de estiagem, quando há um aumento na demanda de água para irrigação, as vazões no curso de água ficam extremamente baixas devido aos altos volumes que são bombeados para as lavouras de arroz (PAIVA et al., 2001). Consequentemente, as cargas de poluentes carregadas para o curso da água passam a sofrer um menor efeito de diluição, fato este que pode agravar os problemas da qualidade da água nos corpos hídricos.

Portanto, com base no atual estágio de desenvolvimento da área de estudo, pode-se afirmar que estudos de qualidade da água no sentido de diagnosticar qualitativamente a bacia hidrográfica e subsidiar o seu planejamento e gestão são necessários, de modo que práticas de mitigação da poluição hídrica sejam implementadas.

A situação atual exige uma utilização racional dos recursos naturais. Neste panorama, o modelo SWAT aparece como uma ferramenta para avaliar a qualidade da água de forma contínua e distribuída na bacia hidrográfica e relacionar as cargas poluidoras observadas nos



corpos d'água com as práticas de uso e ocupação do solo, sendo assim possível a adoção de medidas para a amenização de impactos.

## 2.2. O modelo SWAT

O SWAT é um modelo hidrológico desenvolvido em meados dos anos 90 pelo *Agricultural Research Service (ARS)* dos Estados Unidos e pela *Texas A&M University* em parceria com o *US Department of Agriculture (USDA)* com o objetivo de avaliar os impactos das alterações no uso e ocupação do solo sobre o escoamento superficial e subterrâneo, produção de sedimentos e qualidade da água em bacias hidrográficas rurais e urbanas, onde a poluição difusa é a principal causa de degradação dos recursos hídricos (NEITSCH et al., 2005).

O modelo requer uma grande variedade de dados físicos de entrada, tais como precipitação, radiação solar, velocidade do vento e evaporação, além de mapas de solo, uso e ocupação do solo e Modelo Numérico do Terreno (MNT). Não obstante, o SWAT possui recursos os quais permitem ao usuário, ao simularem os processos hidrológicos, escolherem os métodos de cálculo de acordo com a disponibilidade de dados, como, por exemplo, a infiltração pode ser simulada pelo método da Curva-Número ou pelo método Green-Ampt, e a evapotranspiração potencial pelas equações de *Hargreaves*, *Priestley-Taylor* ou *Penman-Monteith* (NEITSCH et al., 2005).

O modelo SWAT divide a bacia hidrográfica em sub-bacias para depois dividi-las em HRU's. As HRU's, por sua vez, representam a discretização de porções de áreas das sub-bacias em que há apenas uma classe de solo, declividade e um tipo de uso e manejo (NEITSCH et al., 2005). A subdivisão da bacia em áreas com uma única combinação de relevo-solo-uso do solo permite simular de forma diferenciada a evapotranspiração e outros processos hidrológicos que dependem diretamente do tipo de solo e uso da terra.

O escoamento é calculado para cada HRU e propagado para obter o escoamento total para a sub-bacia. Em seguida, as respostas geradas por sub-bacias são direcionadas para as calhas dos rios de acordo com a rede de drenagem existente na bacia hidrográfica. Isso pode aumentar a precisão das previsões e fornecer uma melhor descrição física do balanço de água na bacia (ARNOLD et al., 1998).

A simulação dos processos no modelo SWAT inicia com a inserção do MNT e localização do exutório da bacia hidrográfica. Desta forma, a rede de drenagem será gerada juntamente com as sub-bacias. Em seguida, deve-se inserir no modelo os mapas de solo e uso e ocupação do solo (considerando-se que o banco de dados já foi previamente configurado) de modo que serão geradas as HRU's. Finalmente, deve-se adicionar as estações climatológicas utilizadas para que o modelo acesse as séries temporais organizadas em arquivo .txt. Caso as etapas descritas sejam executadas com sucesso, diversos processos físicos serão simulados pelo modelo SWAT.

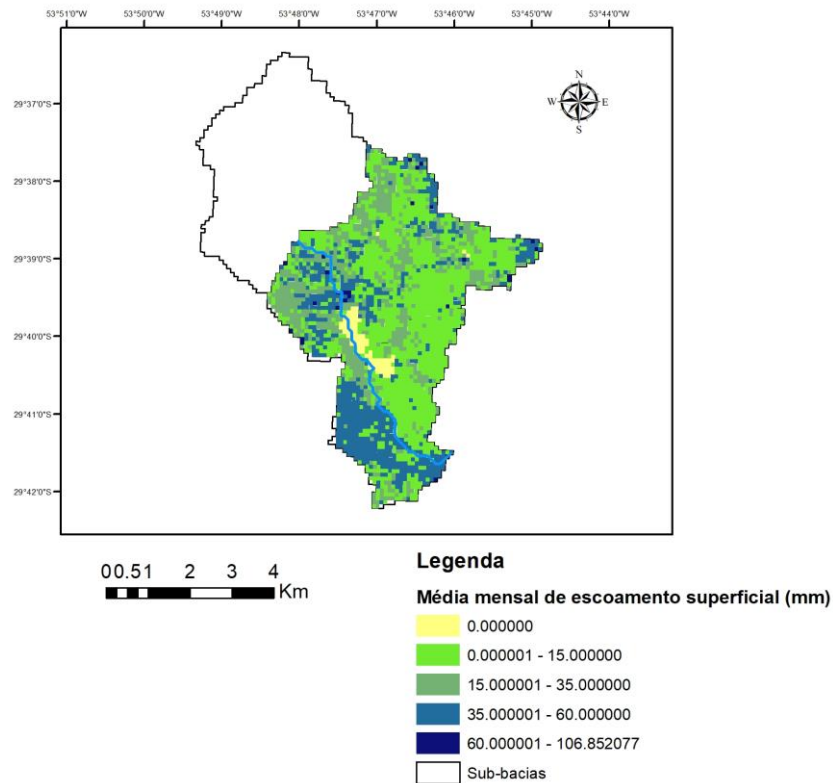
## 3. Resultados e discussão

Aplicou-se o modelo hidrológico SWAT, com banco de dados devidamente composto de dados físicos da bacia hidrográfica, para realizar o diagnóstico da área de estudo e nortear o seu planejamento ambiental. A Figura 2 mostra a média mensal de escoamento superficial simulada pelo modelo na área da bacia hidrográfica para o período 2006-2017.

Pode-se notar que os maiores índices de escoamento superficial se dão em áreas impermeabilizadas e de solo compactado, as quais estão associadas a práticas de uso do solo como agricultura, industrialização e áreas urbanas.



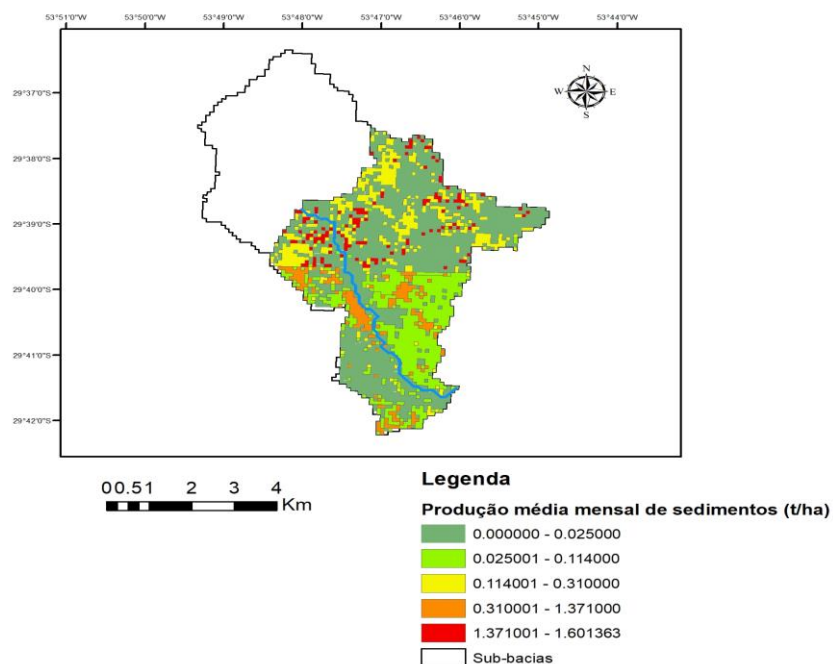
Figura 2 - Média mensal de escoamento superficial simulada pelo modelo SWAT nas sub-bacias



A Figura 3 mostra a produção de sedimentos simulada pelo modelo SWAT. Pode-se notar, comparando-se com o mapa de uso e ocupação do solo, que as áreas associadas às maiores cargas de sedimentos são ocupadas por práticas de campo/agricultura e solo exposto.

Isso pode ser explicado pela compactação do solo causada pelas práticas de agricultura e circulação de gado, o que diminui a capacidade de infiltração de água no solo e aumenta o escoamento superficial. O aumento do escoamento superficial pode acarretar a erosão do solo e consequente produção de sedimentos e carreamento de partículas de solo em direção aos cursos da água.

Figura 3 - Produção de sedimentos simulada pelo modelo SWAT nas sub-bacias





As Figuras 4 e 5 mostram a produção de nutrientes Fósforo e Nitrogênio, respectivamente. Percebe-se que a distribuição espacial da produção Fósforo e Nitrogênio é bastante homogênea e as maiores cargas de nutrientes estão associadas a áreas de agricultura. Isso pode ser explicado pelo uso de fertilizantes associado a estas práticas, os quais possuem altas concentrações de Fósforo orgânico e Nitrogênio orgânico.

Estes nutrientes podem estar adsorvidos à partículas de solo e ser carreados aos cursos da água pela ação do escoamento superficial, apresentando portanto uma relação direta com a produção de sedimentos e escoamento superficial da bacia hidrográfica.

Figura 4 - Produção de Fósforo simulada pelo modelo SWAT nas sub-bacias

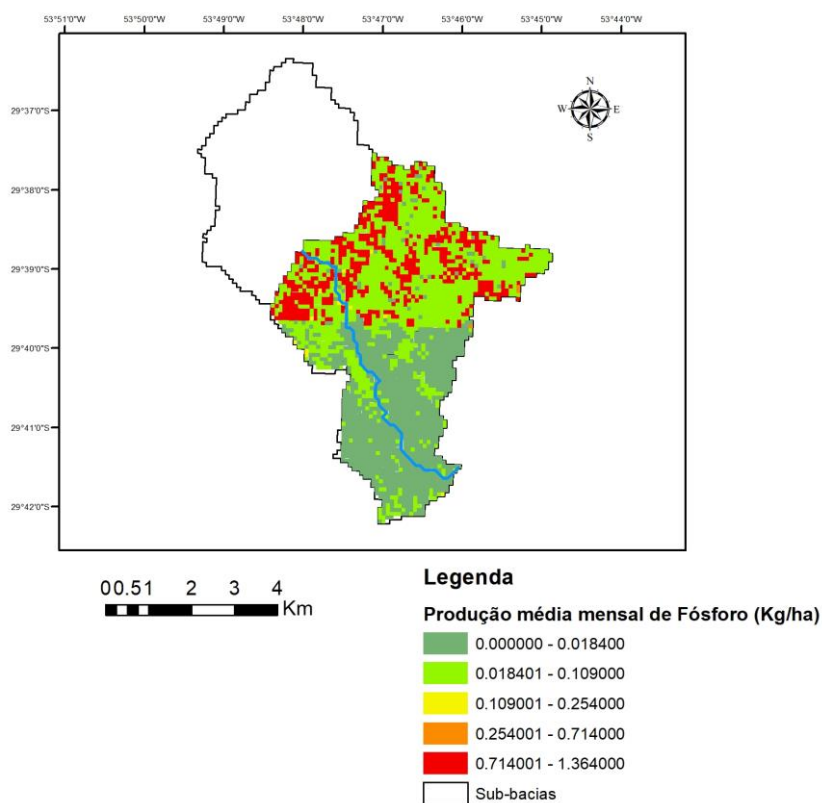
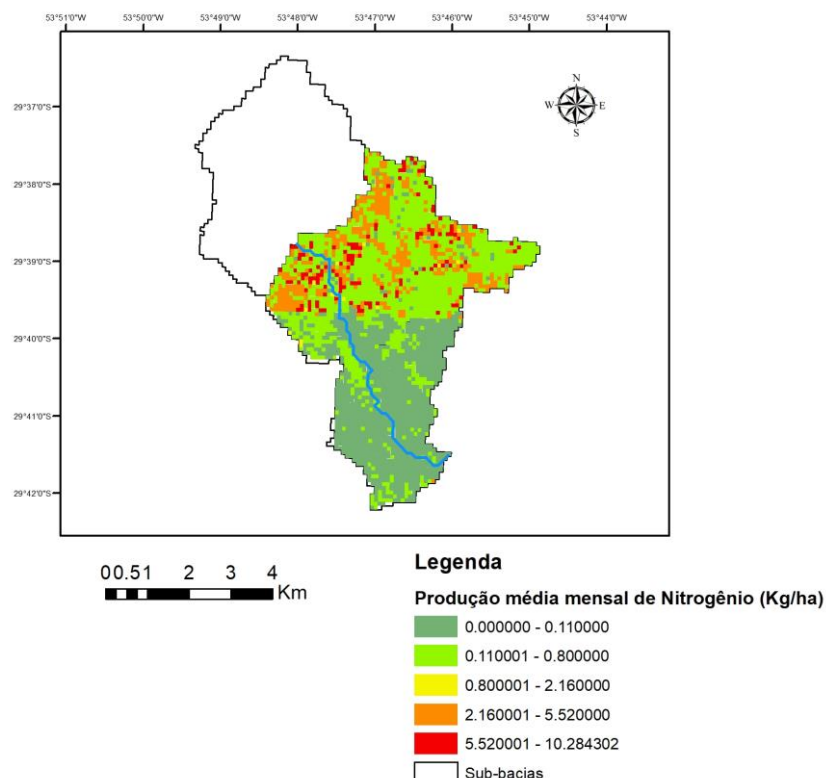




Figura 5 - Produção de Nitrogênio simulada pelo modelo SWAT nas sub-bacias



#### 4. Conclusões

Através da aplicação do modelo hidrológico SWAT na bacia hidrográfica do Vacacaí Mirim e análise dos resultados, conclui-se que a aplicação de modelos matemáticos consistiu-se de uma potencial ferramenta para a gestão de bacias hidrográficas. Estes modelos, uma vez que tenham seu banco de dados adequadamente alimentados com dados confiáveis e representativos das condições físicas da área de estudo, possibilitam a simulação de diversos processos físicos relacionados ao ciclo hidrológico na escala de bacias hidrográficas.

A simulação de tais processos permite o mapeamento de áreas ambientalmente sensíveis e fontes de poluição, de modo que soluções sejam tomadas e o processo de tomada de decisão seja orientado com embasamento científico.

A análise dos resultados para o cenário atual permite notar que as práticas de uso do solo mais degradantes a qualidade dos recursos hídricos são agricultura e campo. Isto se deve às maiores cargas de sedimentos e nutrientes observadas nestas áreas e o consequente aporte à rede de drenagem da bacia hidrográfica através do escoamento superficial, comprometendo a qualidade da água da bacia.

Conforme demonstra o presente trabalho, a aplicação de modelos hidrológicos em bacias hidrográficas permite a identificação de práticas de uso da terra que degradam a qualidade dos recursos hídricos, de forma espacialmente distribuída e visualmente clara, permitindo aos planejadores, órgãos ambientais competentes e ao poder público a adoção de práticas conservacionistas que busquem mitigar e evitar a degradação da qualidade da água, contribuindo para a saúde do homem e do ambiente.



## Referências

ARNOLD, J.G et al. Large-area hydrologic modeling and assessment: Part I. Model development. **Journal of American Water Resources Association**, v.1, n. 34, p. 73 – 89, 1998.

NEITSCH, S.L. et al. Soil and Water Assessment Tool: Theoretical Documentation, Version 2005. **Agricultural Research Service**, Texas. 476 p. 2005.

PAIVA, J.B.D. et al. **Demandas de água na bacia do rio Vacacaí-Mirim**. Disponível em: <<http://jararaca.ufsm.br/websites/paiva/download/PaivaDemandas.pdf>>. Acessado em: 18 fev. 2017.

PAIVA, R.C.D.; PAIVA, E.M.C.D.; PAIVA, J.B.D. **Estimativa das vazões naturais nas sub-bacias do Vacacaí-Mirim através do modelo simplificado**. Disponível em: <<http://jararaca.ufsm.br/websites/paiva/download/PaivaQnaturais.pdf>>. Acessado em: 19 fev. 2017.

PEREIRA, D.R. et al. Impacts of Deforestation on Water Balance Components of a Watershed on the Brazilian East Coast. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, p. 1350-1358, May 2014.

SRINIVASAN, R.; ARNOLD, J.G. Integration of a basin-scale water quality model with GIS. **Journal of the American Water Resources Association**, v. 30, n. 93123, p. 453 – 462, June 1994.

TAYLOR, S.D.; HE, Y.; HISCOCK, K.M. Modelling the impacts of agricultural management practices on river water quality in Eastern England. **Journal of Environmental Management**, v. 180, p. 147-163, May 2016.

WHITEHEAD, P.G.; ROBINSON, M. Experimental basin studies: an international and historic perspective of forest impacts. **Journal de Hydrology**, 145:217-230, 1993.