

ESTIMATIVA DAS CARGAS DE SEDIMENTOS E NUTRIENTES EM DUAS SUB-BACIAS DO LAGO PARANOÁ (BRASÍLIA/DF)

Ricardo Minoti¹; Sérgio Koide²; Lucas Matos Liporoni³

RESUMO --- Este estudo teve como objetivo avaliar a utilização do modelo SWAT (Soil and Water Assessment Tool) na simulação de processos de poluição difusa em duas bacias hidrográficas tropicais, submetidas a diferentes usos e ocupações da terra, localizadas no Distrito Federal, Brasil. O modelo foi aplicado em duas unidades hidrográficas contribuintes da bacia do lago Paranoá; a bacia hidrográfica do ribeirão Bananal (128 km²) e a bacia hidrográfica do ribeirão do Gama (141 km²), no intuito de estimar as cargas de sedimentos e as concentrações de nitrogênio e fósforo a jusante das bacias, comparando dados calculados com dados observados. Os resultados do SWAT superestimaram as vazões e as concentrações de fósforo e nitrogênio quando comparadas com os dados de monitoramento. Esses dados evidenciaram relação direta dos modelos gerados com o conjunto de dados de entrada utilizados. Devido, principalmente, às características dos solos do Distrito Federal, o aprimoramento do processo de parametrização do modelo, assim como a realização de calibração, tornam-se necessários para que os resultados gerados possam representar de maneira mais eficaz as condições quali-quantitativas observadas nas bacias hidrográficas.

ABSTRACT --- The main objective of this study was to evaluate the application of the SWAT model (Soil Water Assessment Tool) to forecast nonpoint source pollution in two tropical watersheds, subjected to different land uses, located within the Federal District, Brazil. The model was applied to two of the Paranoá dam upstream watersheds, the Bananal watershed (128 km²) and the Gama watershed (141 km²), in order to estimate sediment, nitrogen and phosphorus loads and compare with observed data. Simulated runoff, total phosphorus and total nitrogen values were compared with observed time series. The results of the SWAT was found to overestimate stream flow, phosphorus and nitrogen concentrations when compared with monitoring data observed in the basins. The SWAT proved sensitive to the set of available data on the study area. Due to the characteristics of the soils of the Federal District, the improvement of the parameterization, as well as carrying out the calibration of the models, are necessary so that the real qualitative and quantitative characteristics of the basins could be better represented.

Palavras-chave: Modelos hidrológicos, SWAT, poluição difusa.

¹ Pesquisador colaborador da UnB, FT/ENC/PTARH, Campus Universitário Darcy Ribeiro, 70910-000, Brasília. E-mail rtminoti@hotmail.com

² Professor Associado da UnB, FT/ENC/PTARH, Campus Universitário Darcy Ribeiro, 70910-000, Brasília. E-mail skoide@unb.br

³ Mestrando da UnB, FT/ENC/PTARH, Campus Universitário Darcy Ribeiro, 70910-000, Brasília. E-mail lucas_liporoni@hotmail.com

1. INTRODUÇÃO

O crescimento populacional do Distrito Federal (DF), associado à expansão e intensificação das atividades humanas e às perspectivas de mudanças climáticas, com intensificação dos processos hidrológicos, principalmente em regiões tropicais, são elementos motivadores para o aprofundamento do conhecimento relacionado às condições atuais das bacias hidrográficas dessa importante região, no intuito de contribuir com informações úteis ao planejamento ambiental e de recursos hídricos.

A caracterização ambiental de bacias hidrográficas a fim de avaliar os efeitos dos diferentes usos da terra nos recursos edafo-hídricos é uma importante tarefa que contribui para o entendimento das implicações das alterações da paisagem nos aspectos quali-quantitativos dos corpos hídricos.

Nos estudos de avaliação ambiental, para a elaboração de cenários, atuais ou futuros, emprega-se, usualmente, um conjunto de técnicas específicas destinadas a estimar a magnitude das alterações a serem causadas pelas atividades estabelecidas ou outras a serem desenvolvidas. Exemplos dessas técnicas envolvem o emprego da modelagem matemática, simulação de sistemas, avaliação da paisagem, projeções estatísticas, além de experimentos e medições no campo e no laboratório. O uso de modelos matemáticos permite avaliar e compreender o comportamento de processos que possam induzir o aparecimento de impactos negativos. Muitas vezes, permitem visualizar o comportamento futuro do sistema com a criação de cenários ainda não explorados em experimentos reais, alertando os gestores e contribuindo com o processo de planejamento (Pessoa et al., 1997).

Em sistemas complexos como as bacias hidrográficas, combinando processos naturais como precipitação, evapotranspiração, deflúvio superficial e subterrâneo com fatores relativos às atividades humanas tais como desmatamento, produção agrícola e construção de represas, é impossível uma representação completa de cada processo associado ao ciclo hidrológico, à erosão e à produção e destino dos sedimentos. Nesse sentido, é extremamente vantajosa a utilização de modelos que contemplem essa sucessão de estados ou mudanças simplificando uma realidade complexa por meio da utilização de alguns aspectos de maior importância envolvidos nos processos mencionados (Griebeler et al., 2001).

O modelo SWAT – Soil and Water Assessment Tool - SWAT (Arnold et al., 1998) – é um simulador desenvolvido pelo Serviço de Pesquisa Agrícola (ARS) dos Estados Unidos, representado por vários modelos matemáticos fundamentados no conhecimento das características físicas de bacias hidrográficas agrícolas. Foi desenvolvido para prever o impacto das práticas de manejo do

solo nos ambientes aquáticos superficiais e subterrâneos em bacias de drenagem complexas, com variação dos tipos de solos, do uso e das condições de manejo em longos períodos de tempo.

Uma síntese dos processos físicos que exprimem, no modelo, a ação dos principais fatores que afetam, exclusivamente, as perdas de solo, de água, produção de sedimentos e nutrientes é descrita nos trabalhos de Neitsch et al. (2002a), Neitsch et al. (2002b) e Di Luzio et al. (2002).

Garrido (2003), utilizando a classificação proposta por Tucci (1998), identificou o SWAT como um modelo de simulação matemática contínuo, semidistribuído, determinístico e semiconceitual.

Diversos trabalhos de pesquisa já foram realizados, no Brasil, aplicando o modelo SWAT no para simulação de bacias hidrográficas em diferentes regiões e com diferentes objetivos. Estudo para caracterização de processos hidrológicos foi realizado por Garrido (2003); a quantificação da perda de solo por erosão ou produção de sedimentos foi realizada por Oliveira (1999), Machado e Vettorazzi, (2003), Prado (2005), Paim e Menezes (2009). Em um estudo com enfoque mais avançado, Sarmiento (2010) realizou análise de incertezas e avaliação de fatores influentes no desempenho de modelos gerados pelo SWAT na bacia hidrográfica do rio Descoberto (DF).

Poucos trabalhos foram realizados no país, até o momento, utilizando o SWAT para avaliação das cargas de nutrientes e posteriores análises de seus efeitos na qualidade da água dos corpos hídricos. Neves et al. (2006) avaliaram o aporte de nitrogênio e fósforo aos mananciais de microbacia hidrográfica contendo atividades agrícolas; Bittencourt e Gobbi (2006) aplicaram análise de produção máxima diária de cargas de fósforo para elaboração de cenários futuros frente à construção de reservatório e Baltokoski et al. (2010) aplicaram o modelo com o intuito de analisar o impacto do uso e da ocupação do solo na estimativa de vazão e no fluxo de massa de P total.

A avaliação da exportação de sedimentos e nutrientes das bacias hidrográficas para o interior dos corpos de água é fundamental para o planejamento de recursos hídricos em escala de bacia hidrográfica, contribuindo para o processo de tomada de decisão relacionado às melhores opções de uso da terra e manejo do solo com vistas à manutenção qualitativa.

Além de se configurarem como uma forma econômica de geração de informações e elaboração de cenários ambientais, modelos matemáticos como o SWAT, associados aos sistemas de informações geográficas, contribuem para a localização de áreas críticas fornecendo indicativos para a realização de medições e estudos posteriores, além da realização de operações emergenciais para a contenção ou controle de processos em estado crítico.

Desta forma justifica-se a investigação relacionada à caracterização ambiental e estimativa das cargas de sedimentos e nutrientes nas bacias estudadas neste trabalho em função da necessidade de

maior entendimento sobre as condições atuais dessas unidades hídricas em relação aos aspectos quali-quantitativos.

Este estudo, ainda em fase inicial de desenvolvimento, visou gerar informações preliminares sobre a aplicação do modelo SWAT em bacias hidrográficas do Distrito Federal, bioma Cerrado, no intuito de caracterizar o comportamento do modelo frente aos dados de entrada utilizados e antes da realização da etapa de calibração. Em princípio, modelos como o SWAT foram desenvolvidos para estimativas de vazão e cargas em bacias não monitoradas, portanto é importante verificar sua habilidade em prever essas variáveis sem calibração. Caso os resultados obtidos não sejam aceitáveis é necessário proceder-se às etapas de calibração e verificação para adaptar os parâmetros do modelo às características locais.

Após sua calibração, os dados gerados na modelagem das bacias servirão de base, dados de entrada, para a aplicação de modelo de qualidade de água no lago Paranoá. Esse corpo hídrico deverá servir, nos próximos anos, como manancial de água para o DF.

Tendo em vista as previsões de escassez quali-quantitativa de recursos hídricos nessa unidade da Federação, este estudo, após o desenvolvimento de suas próximas etapas, objetiva gerar informações de suporte ao planejamento dos recursos hídricos do Distrito Federal tendo como foco a bacia hidrográfica do lago Paranoá. Dessa forma, o enfoque adotado foi de primeira aproximação, a partir dos dados disponíveis, para produção de dados e informações iniciais relacionados às estimativas de cargas de sedimentos e nutrientes que atingem o lago.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Descrição da área de estudo

As bacias dos ribeirões do Bananal e Gama localizam-se na bacia de drenagem do lago Paranoá, Distrito Federal – DF (Figura 1). A bacia desse lago no planejamento original de Brasília abrigaria uma população limitada geograficamente e em densidade populacional com base nas características peculiares associadas aos diversos setores; diferentes usos e ocupações de terra. Essas características têm sido continuamente modificadas pela alteração de destinação e forma de ocupação, o que gerou grandes impactos tanto nos rios afluentes quanto no próprio lago.

A bacia do lago Paranoá apresenta, na região à montante, a sub-bacia do lago Santa Maria, corpo de água responsável, atualmente, por 21% do abastecimento de água do Distrito Federal ($1.9 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$).

O lago Paranoá foi destinado, desde sua criação, a múltiplas finalidades urbanísticas, tais como recreação, pequeno aproveitamento hidrelétrico, servir de corpo receptor aos efluentes de duas

estações de tratamento de esgotos, com tratamento terciário. Com o esgotamento das fontes de água mais próximas e com boa qualidade, o lago deverá ser o próximo aproveitamento de água para abastecimento do DF, de grande porte, a partir de 2012/2013, já com outorga concedida pela Agência Nacional de Águas (ANA).

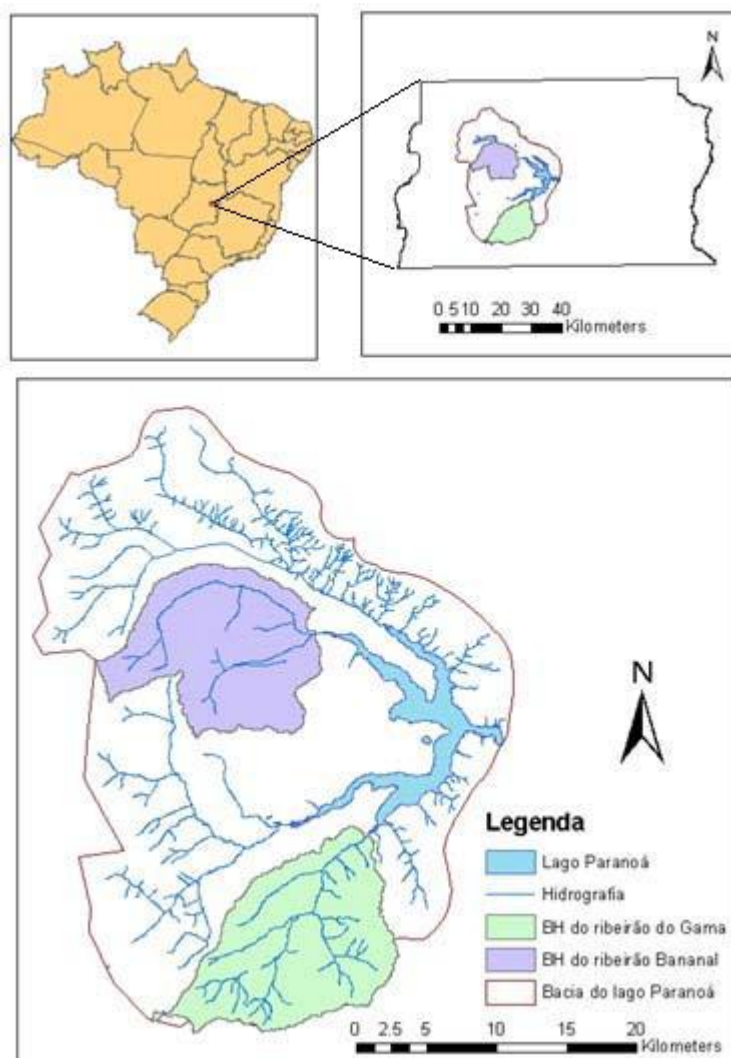


Figura 1 – Localização da bacia de drenagem do lago Paranoá e das bacias hidrográficas dos rios Bananal e do Gama no Distrito Federal.

Apesar dos esforços de monitoramento realizados pela Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal (CAESB), até agora pouco tem sido feito em termos de estudos que permitam prognósticos futuros sobre os impactos da crescente ocupação das bacias na qualidade da água dos rios afluentes e do lago que pode ser afetado tanto desenvolvimento urbano como agrícola.

2.2 Modelo SWAT e a construção da base de dados

A construção da base de dados georreferenciada foi realizada em ambiente SIG, com a utilização do software ArcGIS versão 9.3.

O modelo SWAT foi utilizado com base na interface ArcGIS – ArcSWAT - Soil and Water Assessment Tool versão 2009.93.5. Outra parte dos dados necessários para a simulação foi gerada pela própria interface ArcSWAT, como o delineamento das bacias hidrográficas, das sub bacias e das unidades de resposta hidrológica.

A composição da base de dados em SIG foi realizada da seguinte forma:

- Modelo de Elevação Digital – obtido a partir de dados da série “Brasil em Relevo”, Embrapa Monitoramento por Satélite (Miranda, 2005);
- Dados climáticos – obtidos no Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), a partir de dados da estação central de Brasília;
- Dados de solos – obtidos a partir da base de dados de arquivos disponibilizados pelo Ministério do Meio Ambiente, relacionados ao mapeamento de solos da RIDE DF para o Zoneamento Ecológico Econômico, elaborado pela Embrapa Solos em escala 1:250.000;
- Dados de uso da terra – obtidos a partir de levantamento realizado pela UNESCO, referente ao ano de 2006.

A comparação entre os dados simulados com dados reais foi possível em função do recebimento de extensa base de dados observados, proveniente da Caesb, fruto de longo monitoramento hidrológico que essa empresa realiza desde os anos 1977 e 1978, para os dados quantitativos e qualitativos, respectivamente.

Na análise dos dados gerados pelo modelo, em comparação como os dados observados, além da análise de correlação, foi realizada com a aplicação da função objetivo Nash e Sutcliffe (COE).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Caracterização das bacias hidrográficas

A microbacia do ribeirão Bananal foi delimitada pela interface ArcSWAT e dividida em 2 sub-bacias e apresenta uma área de 128 km² e perímetro de 71 km. De maneira semelhante, a microbacia do ribeirão do Gama foi também dividida em 2 sub-bacias, apresentando uma área total de 141 km² e perímetro de 75 km.

3.1.1 Modelo de elevação digital e sub-bacias

Os modelos de elevação digital das bacias hidrográficas do ribeirão Bananal e ribeirão do Gama, gerados a partir de dados da série “Brasil em Relevo”, Embrapa Monitoramento por Satélite (Miranda, 2005), são apresentados na Figura 2.

A bacia hidrográfica do ribeirão Bananal foi dividida pela interface ArcSWAT em duas sub-bacias: a sub-bacia do córrego do Acampamento (ao sul) e a sub-bacia do ribeirão Bananal (ao norte).

A bacia hidrográfica do ribeirão do Gama foi dividida, também, em duas sub-bacias. Entretanto, a divisão ocorreu em função da inserção de 2 *outlets*, para comparação com dados das estações de monitoramento.

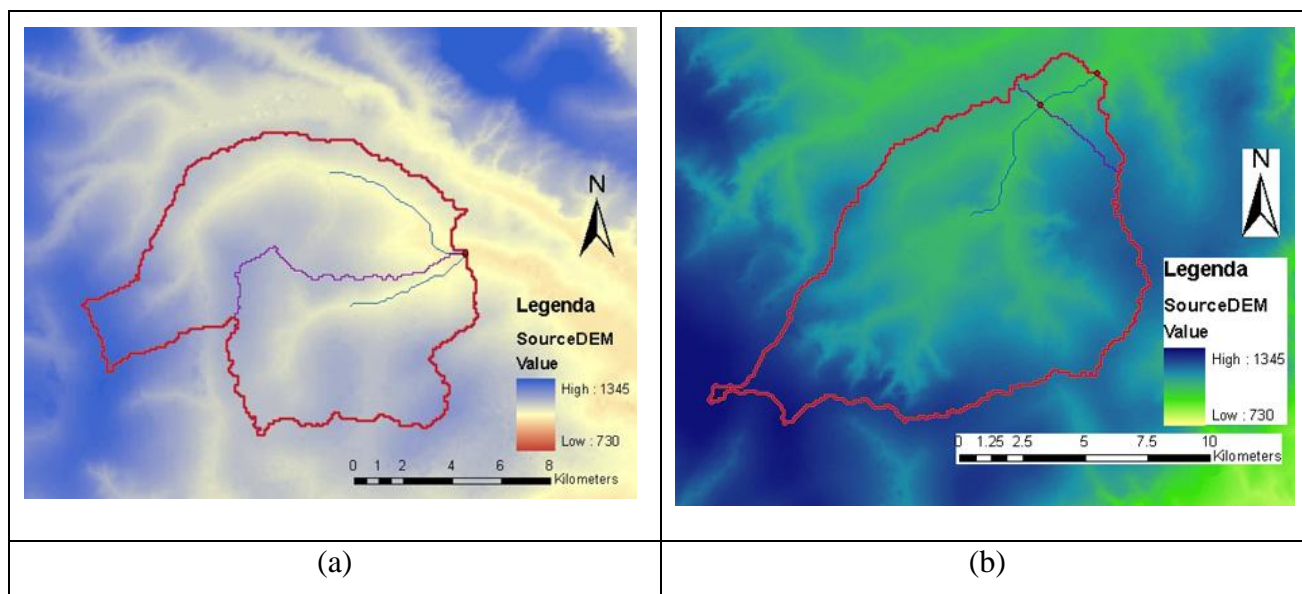


Figura 2 – Modelo de elevação digital e sub-bacias: (a) Bacia hidrográfica do ribeirão Bananal. (b) Bacia hidrográfica do ribeirão do Gama (DF).

3.1.2 Hidrografia

O sistema de drenagem da bacia hidrográfica do ribeirão Bananal, conforme mencionado na descrição do modelo de elevação digital, é subdividida pela área drenada pelo córrego do Acampamento, parte sul, tendo como afluente o córrego Poço D'anta; e pela área drenada pelo ribeirão Bananal, parte norte, tendo como afluentes os córregos Poço D'água, Capão Comprido e do Rago.

A bacia hidrográfica do ribeirão do Gama apresenta, como tributários, os córregos da Onça 1, 2 e 3, Mato Seco, do Cedro, Roncador, Pitoco, Monjolo, Escondido, Taquara, Tapera e Grilo. O mapa da hidrografia das bacias estudadas é apresentado na Figura 3.

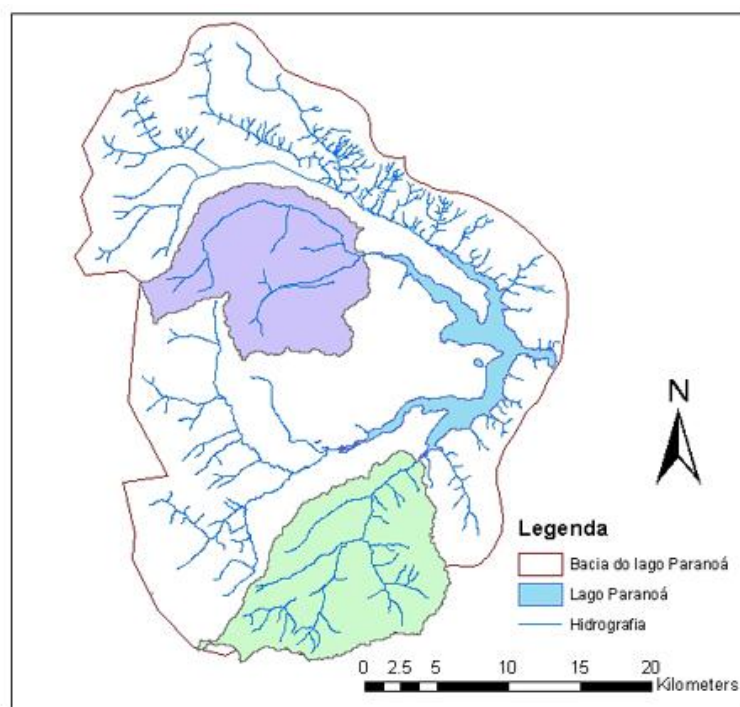


Figura 3 – Mapa hidrográfico da bacia do lago Paranoá (DF), incluindo as bacias hidrográficas do ribeirão Bananal e do Gama.

3.1.4 Solo

Na Figura 4 é apresentado o mapa pedológico referente às bacias estudadas. A bacia hidrográfica do ribeirão Bananal apresenta 4 tipos de solo: Associação de Latossolo Vermelho + Latossolo Vermelho-Amarelo (LVd5), associação de Latossolo Vermelho-Amarelo textura média + Latossolo Vermelho-Amarelo textura argilosa (LVAd7), associação Latossolo Vermelho-Amarelo textura argilosa (LVAd13) e associação de Cambissolo Háplico Tb (CXbd9).

A bacia hidrográfica do ribeirão do Gama apresenta 3 tipos de solo: Associação de Latossolo Vermelho + Latossolo Vermelho-Amarelo (LVd5), associação de Cambissolo Háplico Tb (CXbd9) e extensa área ocupada por Antropossolos (solos alterados por usos e ocupações urbanas).

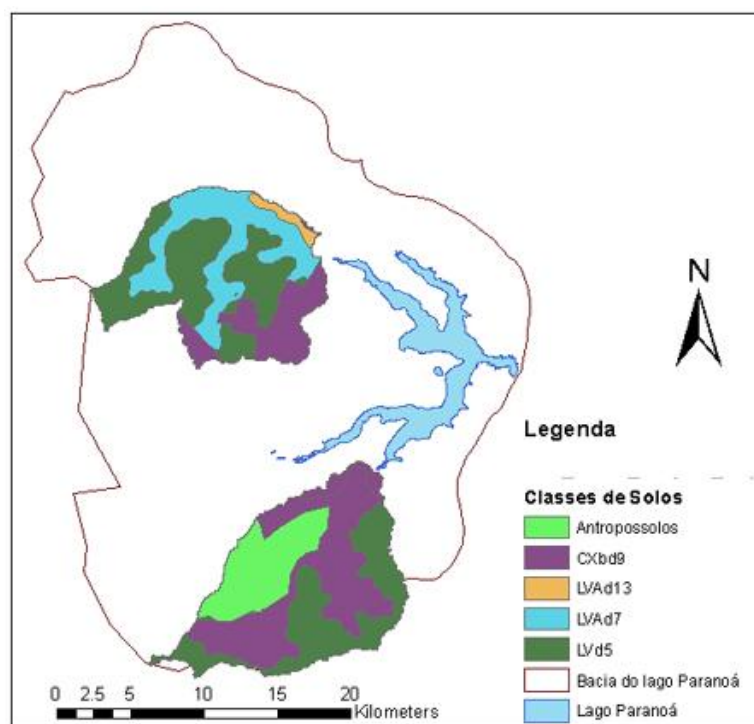


Figura 4 - Mapa de solos das bacias hidrográficas do ribeirão Bananal e ribeirão do Gama - DF (Embrapa, 2002).

3.1.5 Uso da terra

O mapa de uso da terra das bacias do ribeirão Bananal e do ribeirão do Gama, gerado a partir de dados da Unesco referentes ao ano de 2006, é apresentado na Figura 5. O cerrado apresenta-se como um dos usos dominantes nas duas bacias. Nota-se que a expansão das áreas urbanas é mais intensa na bacia do ribeirão do Gama.

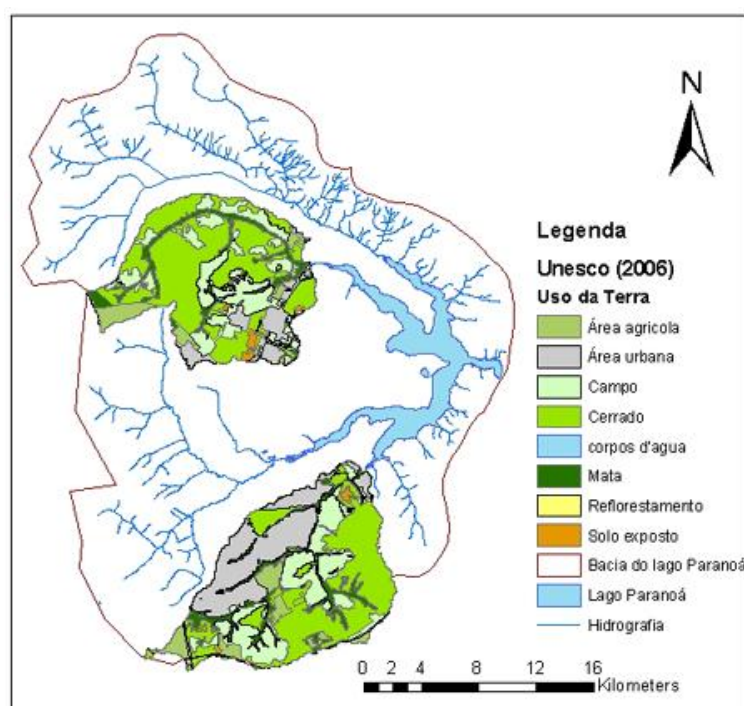


Figura 5 – Mapa de uso da terra nas bacias hidrográficas do ribeirão Bananal e ribeirão do Gama – DF (UNESCO, 2006).

3.3 Comparação entre os resultados gerados e observados para a bacia hidrográfica do ribeirão Bananal - DF

Como resultado da aplicação do modelo SWAT, e da disponibilidade de dados históricos de vazão para a bacia do ribeirão Bananal, as vazões calculadas foram comparadas com os dados observados pelo monitoramento da Caesb. Essa comparação é apresentada na Figura 6, juntamente com os dados históricos de precipitação.

O resultado gerado pela análise de correlação entre os dados obtidos (calculados) e observados (Caesb), sem que fosse realizado o processo de calibração do modelo, foi de 0,36. O resultado obtido pela aplicação da função objetivo Nash e Sutcliffe, para as mesmas séries de dados, foi de -3,76.

Com base na análise visual, pode-se observar que o modelo SWAT superestimou as vazões nos períodos de cheia e subestimou-as nos períodos de seca. Os picos referentes aos dados superestimados atingem 2 ou 3 vezes mais do que as vazões observadas.

Na Figura 7 pode-se observar as concentrações de fósforo total calculadas pelo modelo SWAT e observadas (Caesb) para a bacia hidrográfica do ribeirão Bananal. Os resultados evidenciaram acentuada discrepância entre os resultados médios calculados pelo modelo e as concentrações observadas pelo monitoramento qualitativo desse corpo aquático.

De maneira semelhante, os resultados obtidos relacionados às concentrações de nitrogênio total (Figura 8), semelhante ao que ocorreu com os dados de fósforo total, indicaram a mesma anomalia entre os resultados calculados e os resultados observados.

Os modelos gerados, frente aos dados de entrada disponíveis até o momento, indicam a necessidade de calibração dos modelos, dados quantitativos, a fim de que as diferenças entre os dados calculados e observados possa diminuir.

Na Tabela 1 são observados os valores mínimos, médios e máximos de N e P totais, calculados e observados, para a bacia hidrográfica do ribeirão Bananal – DF. Conforme foi visualizado nos gráficos, todos os valores calculados encontram-se mais elevados que os valores observados. Observou-se, especificamente para o valor máximo de N Total calculado, 8,63 mg/L, que o resultado calculado foi extremamente mais elevado que o valor máximo observado no corpo hídrico.

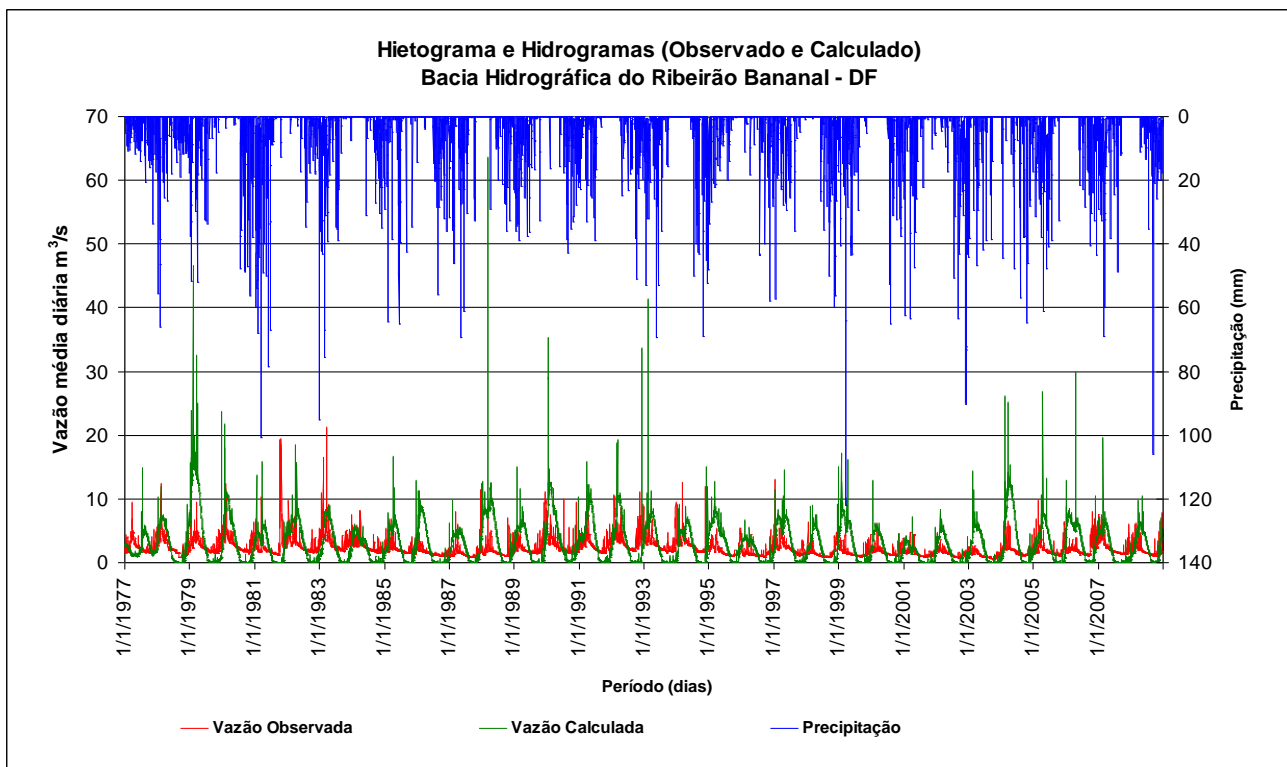


Figura 6 - Comparação entre as vazões calculada pelo SWAT e observada (Caesb), e apresentação de dados de precipitação (INMET), para a bacia hidrográfica do ribeirão Bananal/DF.

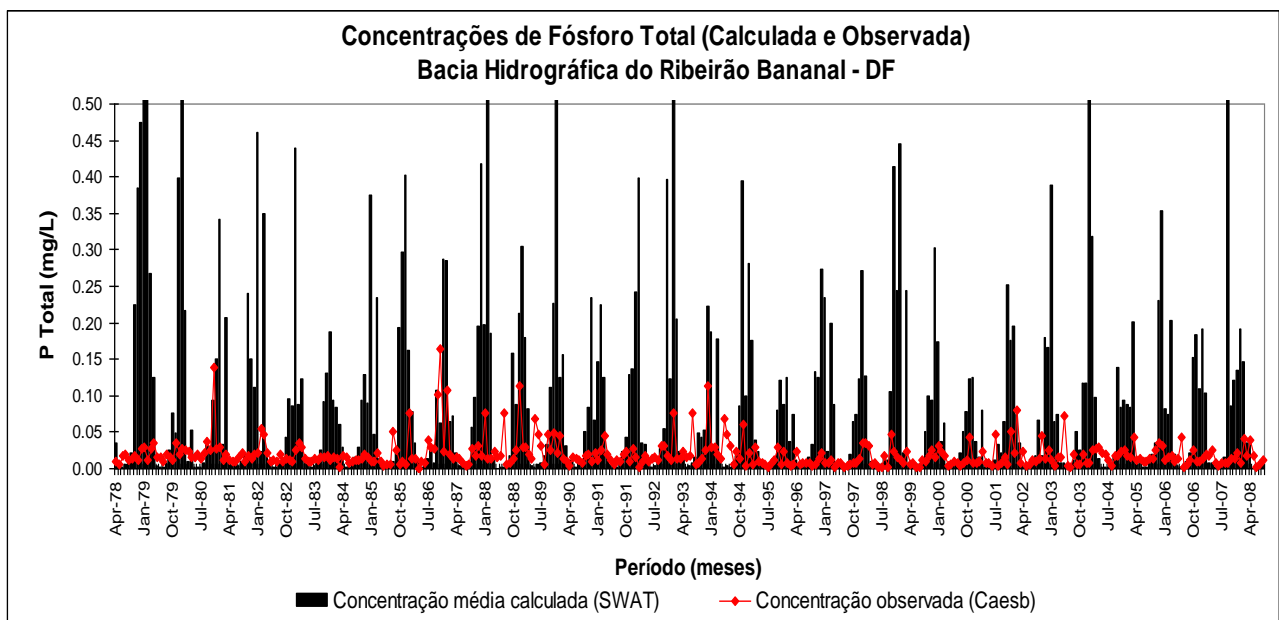


Figura 7 - Concentrações de fósforo total calculadas pelo modelo SWAT e observadas (Caesb) para a bacia hidrográfica do ribeirão Bananal - DF.

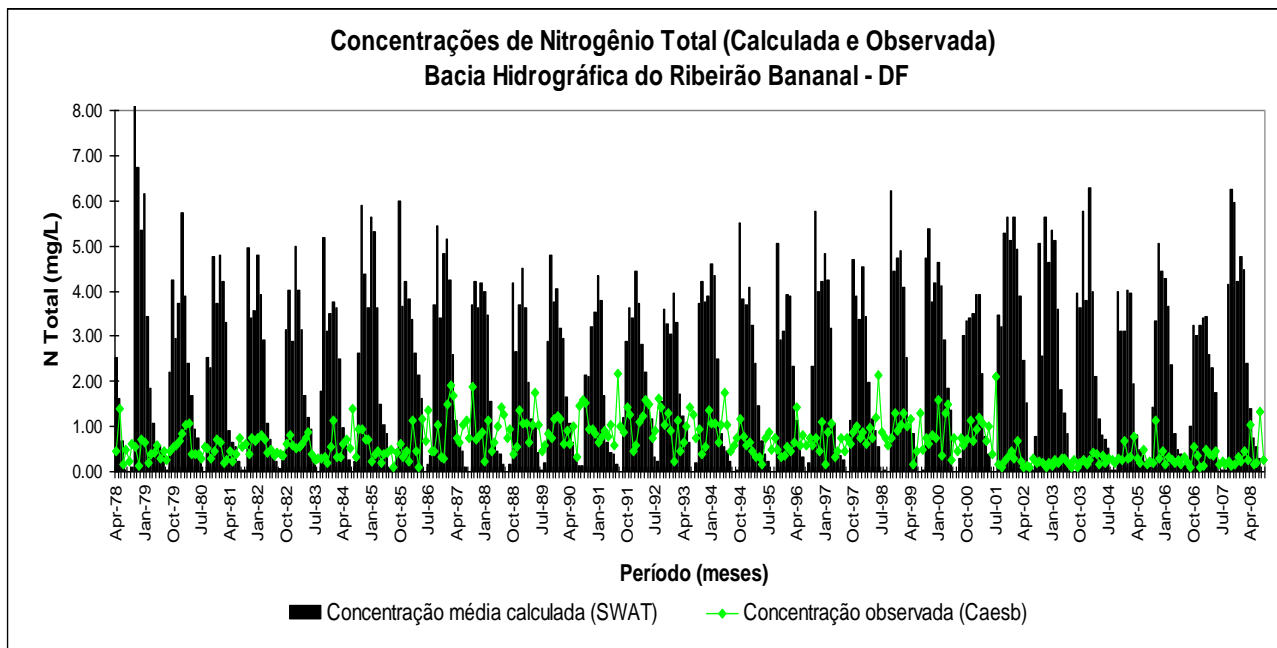


Figura 8 - Concentrações de nitrogênio total calculadas pelo modelo SWAT e observadas (Caesb) para a bacia hidrográfica do ribeirão Bananal - DF.

Tabela 1 – Valores mínimos, médios e máximos de N e P totais calculados e observados para a bacia hidrográfica do ribeirão Bananal – DF.

	N total calculado mg/L	N total observado mg/L	P total calculado mg/L	P total observado mg/L
Máximo	8.63	2.18	1.88	0.17
Mínimo	0.005	0.083	0.001	0.000
Média	2.35	0.65	0.10	0.02

3.4 Comparação entre os resultados gerados e observados para a bacia hidrográfica do ribeirão do Gama - DF

Os resultados obtidos pelo modelo gerado com a aplicação do SWAT para a bacia hidrográfica do ribeirão do Gama foram muito parecidos, em termos gerais, com o que foi apresentado e discutido em relação aos dados da bacia hidrográfica do ribeirão Bananal.

Os resultados da aplicação do modelo SWAT, e da disponibilidade de dados históricos de vazão para a bacia do ribeirão do Gama, as vazões calculadas foram comparadas com os dados observados pelo monitoramento da Caesb. Essa comparação é apresentada na Figura 9, juntamente com os dados históricos de precipitação.

O resultado gerado pela análise de correlação entre os dados obtidos (calculados) e observados (Caesb), sem que fosse realizado o processo de calibração do modelo, foi de 0,45, valor minimamente superior que o encontrado para a bacia hidrográfica do ribeirão Bananal.

O resultado obtido pela aplicação da função objetivo Nash e Sutcliffe, para as mesmas séries de dados da bacia do Gama, foi de $-2,30$, também, ligeiramente superior à bacia do Bananal.

De maneira semelhante ao que foi observado na bacia do Bananal, a análise visual permite observar que o modelo SWAT superestimou as vazões nos períodos de cheia e subestimou-as nos períodos de seca. Nesse período os valores gerados pelo modelo foram extremamente baixos. De maneira oposta, os picos referentes aos dados superestimados foram, em alguns dias, extremamente mais elevados que as vazões observadas.

Na Figura 10 pode-se observar as concentrações de fósforo total calculadas pelo modelo SWAT e observadas (Caesb) para a bacia hidrográfica do ribeirão do Gama. Os resultados evidenciaram, de maneira similar à bacia do ribeirão Bananal, acentuada discrepância entre os resultados médios calculados pelo modelo e as concentrações observadas pelo monitoramento qualitativo desse corpo hídrico.

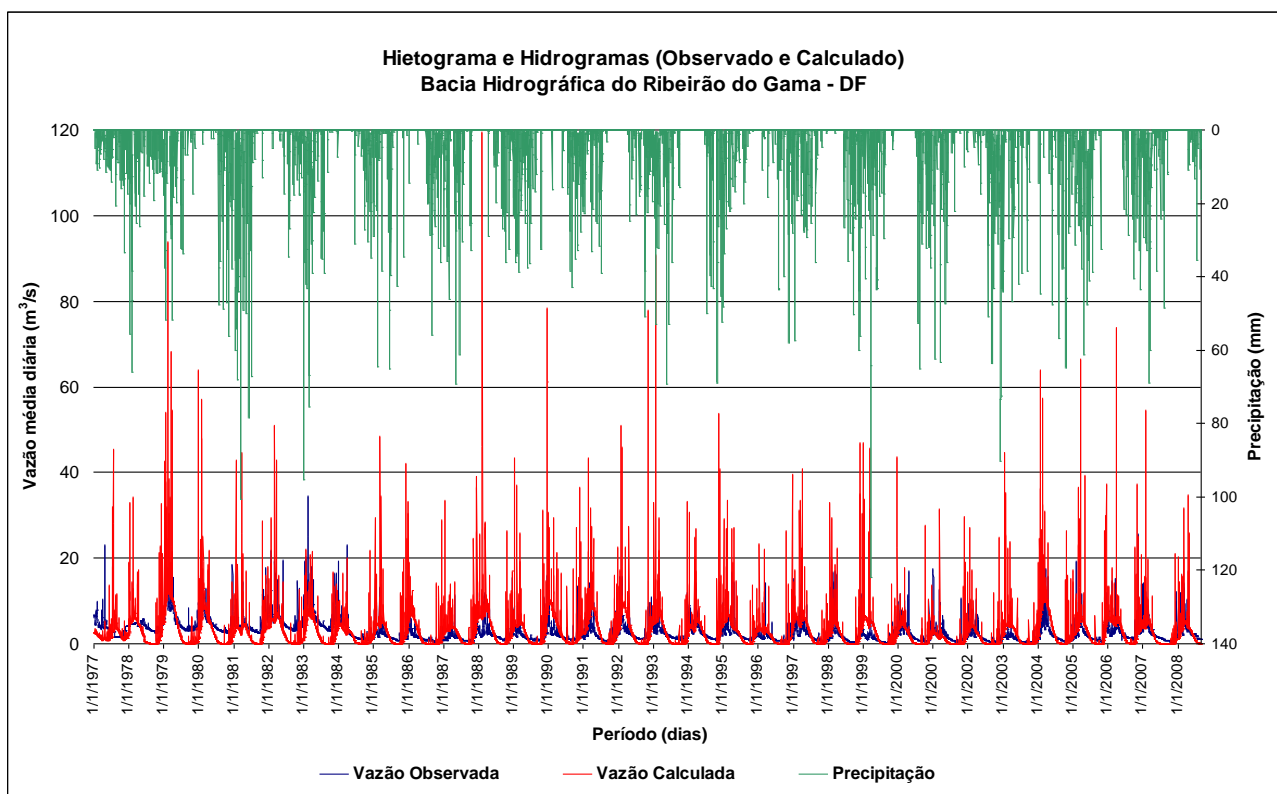


Figura 9 - Comparação entre as vazões calculada pelo SWAT e observada (Caesb), e apresentação de dados de precipitação (INMET), para a bacia hidrográfica do ribeirão do Gama/DF.

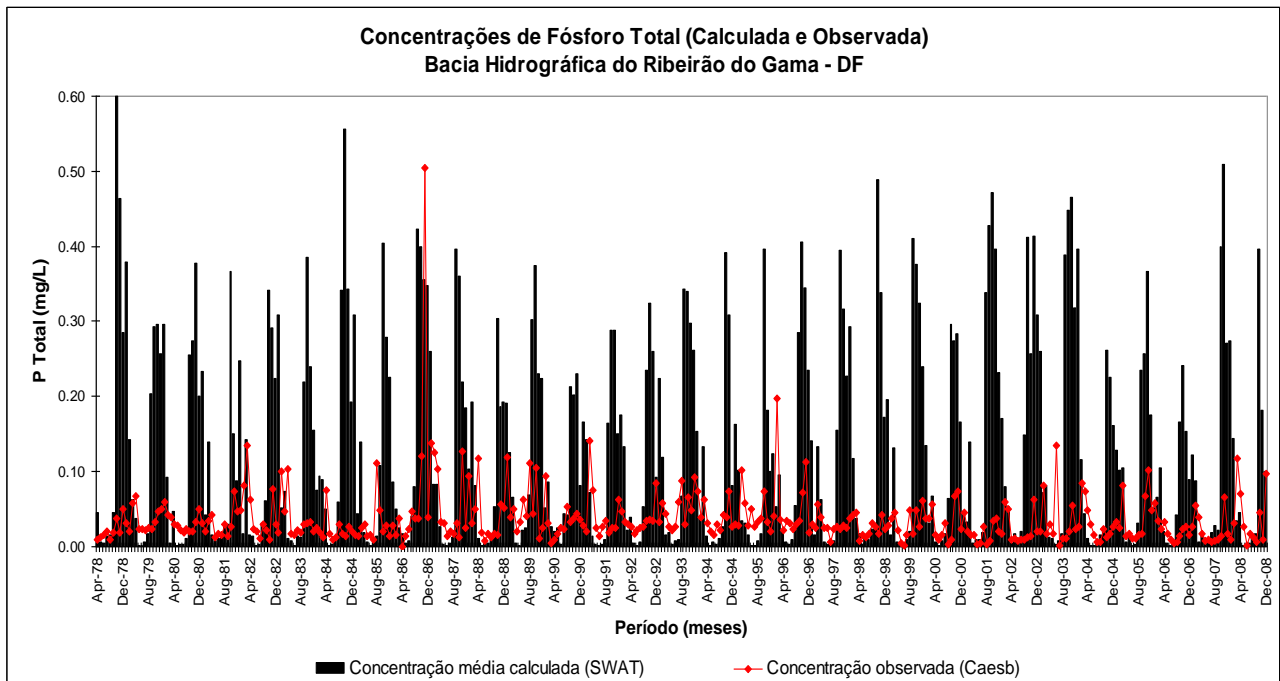


Figura 10 - Concentrações de fósforo total calculadas pelo modelo SWAT e observadas (Caesb) para a bacia hidrográfica do ribeirão do Gama - DF.

Os resultados obtidos relacionados às concentrações de nitrogênio total (Figura 11), semelhante ao que ocorreu com os dados de fósforo total, indicaram a mesma anomalia entre os resultados calculados e os resultados observados.

Os modelos gerados para a bacia hidrográfica do ribeirão do Gama, frente à parametrização realizada até o momento, indicam a necessidade de calibração dos modelos, dados quantitativos, a fim de que as diferenças entre os dados calculados e observados possa diminuir.

Na Tabela 2 são observados os valores mínimos, médios e máximos de N e P totais, calculados e observados, para a bacia hidrográfica do ribeirão do Gama – DF. Diferentemente do que ocorreu com o modelo gerado para a bacia do ribeirão Bananal, com superestimação do valor máximo de Nitrogênio Total, os valores de nitrogênio obtidos foram muito mais próximos. O valor máximo de N total calculado foi, inclusive, mais baixo que o valor de N total máximo observado.

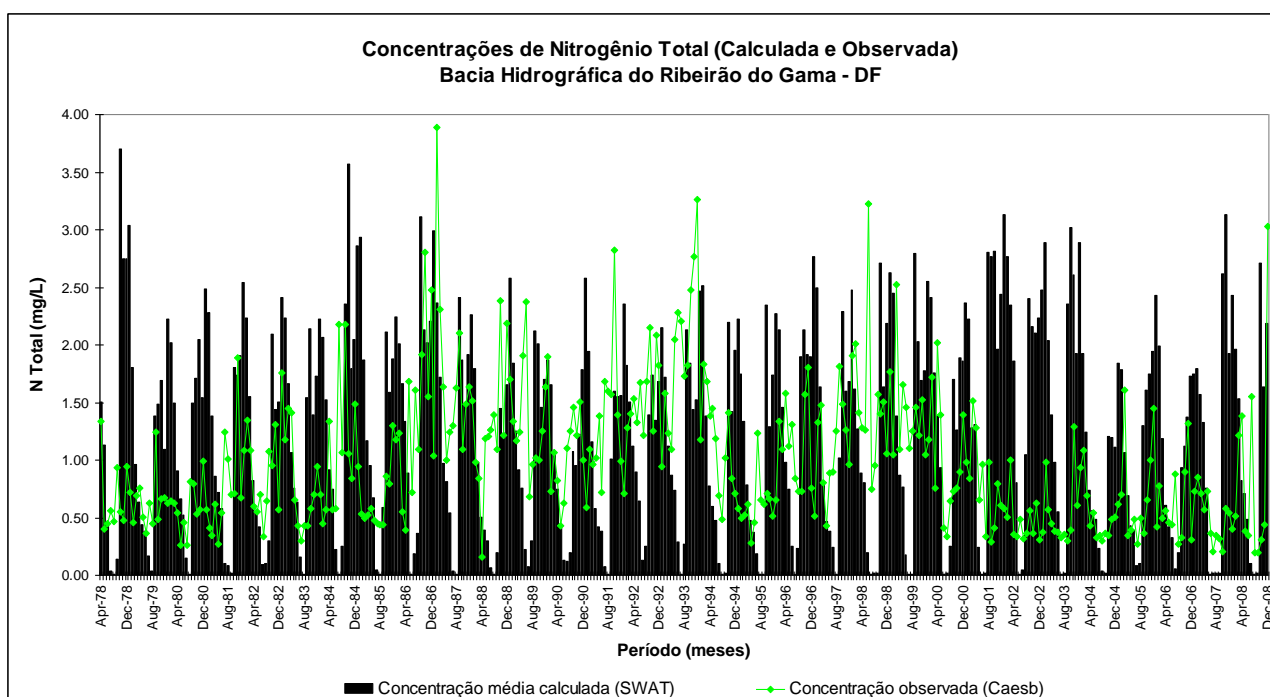


Figura 11 – Concentrações de nitrogênio total calculadas pelo modelo SWAT e observadas (Caesb) para a bacia hidrográfica do ribeirão do Gama - DF.

Tabela 2 – Valores mínimos, médios e máximos de N e P totais calculados e observados para a bacia hidrográfica do ribeirão do Gama – DF.

	N total calculado mg/L	N total observado mg/L	P total calculado mg/L	P total observado mg/L
Máximo	3.70	3.89	0.60	0.50
Mínimo	0.005	0.161	0.001	0.002
Média	1.26	0.99	0.13	0.04

3.5 Resultados das cargas de sedimentos para as duas bacias estudadas

Nas Figura **Erro! Fonte de referência não encontrada.** é apresentada uma comparação entre as cargas mensais de sedimentos, estimadas pelo modelo SWAT, para as bacias do ribeirão Bananal e do ribeirão do Gama, DF.

A visualização do gráfico permite observar que os valores estimados foram bem mais elevados para a bacia do ribeirão do Gama. Isso era esperado em função da maior ocupação por áreas urbanas nessa bacia hidrográfica.

O Distrito Federal apresenta-se ocupado, em grande parte de sua área, por Latossolos (54,5%), compreendendo os Latossolos Vermelhos e os Latossolos Vermelho-Amarelos. Esses solos apresentam baixo teor de silte e argila, podendo apresentar drenagem extremamente elevada. Dessa forma, a parametrização do modelo SWAT com dados gerais dos solos brasileiros, como no

caso do parâmetro CN, por exemplo, pode não corresponder a situações específicas como no caso dos solos do DF, tornando necessária a realização de calibração dos modelos gerados (Reatto et al., 2004).

Em função de a infiltração de água no solo ter sido subestimada, os valores de escoamento superficial foram superestimados pelos modelos, gerando valores mais elevados de escoamento superficial e, conseqüentemente, de vazão, incluindo picos muitas vezes maiores do que os dados observados.

Como os valores calculados de escoamento superficial foram mais elevados, é provável que os valores de cargas de sedimentos, apresentados na Figura 12, tenham sido, também, superestimados.

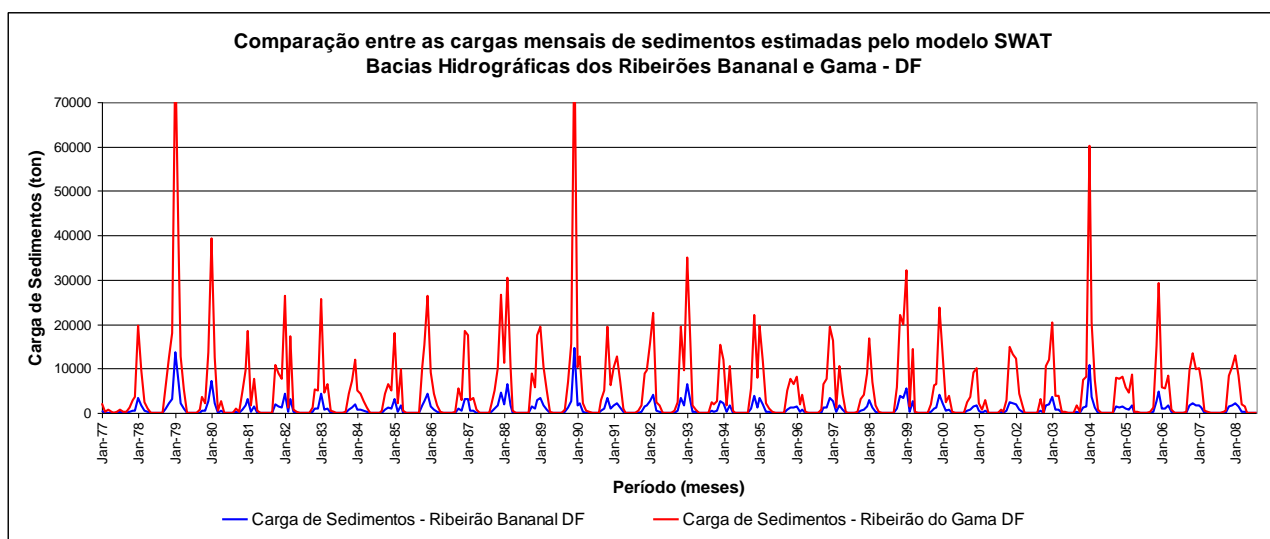


Figura 12 - Comparação entre as cargas mensais de sedimentos estimadas pelo modelo SWAT para as bacias estudadas, bacias hidrográficas do ribeirão Bananal e do ribeirão do Gama.

4. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos no desenvolvimento do presente trabalho, ainda iniciais frente à seqüência de etapas necessária para aplicação de modelos hidrológicos como o SWAT, evidenciaram as complexidades inerentes à aplicação dos modelos no que se refere ao processo de parametrização.

As diferenças observadas entre os dados de vazão calculados e observados sugerem que o modelo SWAT, apesar de ter sido desenvolvido para a realização de simulações em bacias

hidrográficas não instrumentadas, não foi eficiente na abordagem de primeira aproximação para as bacias hidrográficas dos ribeirões do Bananal e Gama (DF).

Em função de os dados de escoamento superficial e de vazão terem sido superestimados pelos modelos gerados, não foi possível, em uma primeira aplicação do SWAT, obter um ajuste necessário para utilização dessa ferramenta em análises mais abrangentes relacionadas aos impactos dos diferentes usos da terra na qualidade de água dos corpos hídricos.

Parte das razões que influenciaram os resultados obtidos deve estar relacionada à imensa gama de dados de entrada do modelo e às dificuldades de parametrização para essas unidades hidrográficas localizadas no bioma Cerrado, com características edafo-hídricas extremamente específicas. Um dos exemplos identificados no presente trabalho foi de que a adoção de valores padrão do parâmetro CN para latossolos brasileiros não retrata as características específicas para os solos encontrados no Distrito Federal. Dessa forma, torna-se necessária a realização de calibração dos modelos.

Apesar das dificuldades identificadas, as bases de dados hidrológicos quali-quantitativos disponíveis para a maior parte das bacias à montante do lago Paranoá, propiciam expectativas positivas frente ao processo de calibração dos modelos que está sendo iniciado.

Dessa forma, a continuação do trabalho de pesquisa está voltada para a obtenção de parâmetros mais específicos para os recursos ambientais do Distrito Federal; obtenção de novos dados, principalmente relacionados às cargas sólidas dos rios afluentes ao lago Paranoá, assim como para a realização da calibração do modelo e análise de sensibilidade.

Após a realização dessas etapas, serão realizadas novas análises dos dados de nutrientes calculados e observados no sentido de criar modelos aptos para auxiliar significativamente no planejamento dos recursos hídricos da bacia do lago Paranoá, futuro manancial de Brasília.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à CAPES, Programa Nacional de Pós-Doutorado – PNPd Processo nº 02815/09-5 – pelo suporte à pesquisa e pela bolsa concedida ao primeiro autor.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARNOLD, J.G.; SRINIVASAN, R.; MUTTIAH, R.S.; WILLIAMS, J.R. Large area hydrologic modeling and assessment. Part I: model development. JAWRA, v. 34, n. 1, p. 73-89, 1998.

BALTOKOSKI, V.; TAVARES, M.H.F.; MACHADO, R.E.; OLIVEIRA, M.P. “*Calibração de modelo para a simulação de vazão e de fósforo total nas sub-bacias dos rios Conrado e Pinheiro – Pato Branco (PR)*”. (2010) Revista Brasileira de Ciência do Solo v.34, p.253-261.

BITTENCOURT, S.; GOBBI, E.F. “*Carga máxima de fósforo admissível ao reservatório Piraquara II, uma aplicação do processo TMDL.*” (2006) Revista Brasileira de Ciência do Solo v.30, p.595-603.

DI LUZIO, M.Di.; SRINIVASAN, R.; ARNOLD, J.G.; NEITSCH, S.L.; WILLIAMS, J.R. ArcView Interface for SWAT2000 – User’s Guide. Temple, Blackland Research Center, Texas Agricultural Experiment Station, 2002. 345p.

GARRIDO, J.M. Aplicação de Modelo Matemático de Simulação com Utilização de SIG à Bacia do Rio Jiquiriçá – Bahia. 2003. 186p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) – Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília.

GRIEBELER, N.P.; PRUSKI, F.F.; JÚNIOR, D.M.; SILVA, D.D. Avaliação de um modelo para a estimativa da lâmina máxima de escoamento superficial. R. bras. Ci. Solo, Viçosa, v. 25, p. 411-417, 2001.

MACHADO, R.; VETORAZZI, C.A. Simulação da produção de sedimentos para a microbacia hidrográfica do ribeirão dos Marins (SP). R. bras. Ci. Solo, Viçosa, v. 27, p. 735-741, 2003.

MIRANDA, E. E. de; (Coord.). **Brasil em Relevô.** Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2005. Disponível em: <<http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br>>. Acesso em: 10 mai. 2011.

NEITSCH, S.L.; ARNOLD, J.G.; KINIRY, J.R.; WILLIAMS, J.R.; KING, K.W. Soil and Water Assessment Tool – Theoretical Documentation: Version 2000. Temple, Blackland Research Center, Texas Agricultural Experiment Station, 2002a. 458p.

NEITSCH, S.L.; ARNOLD, J.G.; KINIRY, J.R.; SRINIVASAN, R.; WILLIAMS, J.R. Soil and Water Assessment Tool – User’s Manual: Version 2000. Temple, Blackland Research Center, Texas Agricultural Experiment Station, 2002b. 412p.

NEVES, F.F.; SILVA, F.G.B.; CRESTANA, S. “*Uso do modelo AVSWAT na avaliação do aporte de nitrogênio (N) e fósforo (P) aos mananciais de uma microbacia hidrográfica contendo atividade avícola.*” Engenharia Sanitária e Ambiental. v. 11, n. 4, p. 311-317, 2006.

OLIVEIRA, J.B. Solos do Estado de São Paulo: descrição das classes registradas no mapa pedológico. Campinas, Instituto Agrônômico. 112p. 1999.

PAIM, J.B.; MENEZES, J.T. “*Estimativa do balanço sedimentar da bacia do rio Tijucas (SC-Brasil) a partir da aplicação do modelo hidrológico SWAT.*” (2009) Revista Geográfica Acadêmica v.3, n.2, p.5-14.

PESSOA, M.C.P.Y.; LUCHIARI JUNIOR, A.; FERNANDES, E.N.; LIMA, M.A. Principais modelos e simuladores utilizados para análise de impactos ambientais das atividades agrícolas. Jaguariúna: Embrapa, 1997. 91p.

PRADO, T.B.G. Evolução do Uso das Terras e Produção de Sedimentos na Bacia Hidrográfica do Rio Jundiá-Mirim. 2005. 69p. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical) – Instituto Agrônômico, Campinas.

REATTO, A., MARTINS, E. S., FARIAS, M. F. R.; SILVA, A. V.; CARVALHO JR., O. A. C., (2004) “*Mapa Pedológico Digital – SIG atualizado do Distrito Federal, escala 1:100000 e uma síntese do texto explicativo.*” Documentos, Nº 120. EMBRAPA Cerrados, Distrito Federal.

SILVA, L.R.S. (2010) “*Análise de incertezas e avaliação dos fatores influentes no desempenho de modelos de simulação de bacias hidrográficas*” 241f. Tese (Doutorado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos), Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Distrito Federal.

TUCCI, C. E. M. Modelos Hidrológicos. 1. ed. Porto Alegre-RS: Editora da UFRGS e ABRH, 1998. v. 1. 652 p.

UNESCO. Vegetação do Distrito Federal: Tempo e Espaço. Brasília: UNESCO, 2006.