



ARTICLES/ARTIGOS/ARTÍCULOS/ARTICLES

Modelagem do potencial de poluição hídrica da bacia hidrográfica do rio Manso - MT

Doutor Jeater Waldemar Maciel Correa Santos
Professor do Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Mato Grosso/Campus de Rondonópolis, MT 270, Km6 s/n, Rondonópolis-MT.
E-mail: jeater@ufmt.br

Mestrando Gustavo Benedito Medeiros Alves
Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Mato Grosso/Campus de Rondonópolis, MT 270, Km6 s/n, Rondonópolis-MT.
E-mail: gustavo.benedito@hotmail.com

RESUMO

ARTICLE HISTORY

Received: 02 January 2014
Accepted: 23 February 2014

PALAVRAS-CHAVE:
Potencial de Poluição Hídrica
Modelagem Cartográfica
Bacia do rio Manso-MT

O estudo visou modelar o potencial de poluição hídrica da bacia do rio Manso-MT. Assim, realizou-se com auxílio de um sistema de informações geográficas (SIG) mapeamentos temáticos em nível de sub-bacias das fontes pontuais e difusas de poluição existentes na bacia. Tais mapas foram padronizados em cinco categorias de potencial poluidor (PRADO; NOVO, 2005), e suas informações ponderadas e sintetizadas conforme proposta de modelagem de Chuvieco e Congalton (1989). Como resultados verificou-se que as sub-bacias com maior potencial de poluição hídrica são as que tem maior produção agropecuária e elevado potencial de erosão do solo; e com menor potencial de poluição as com maior preservação das matas ciliares, menor potencial erosivo do solo e situadas a maior distância do reservatório de Manso. Como os resultados encontrados nesse estudo estão em conformidade com os verificados por outros estudos realizados na mesma área mas usando outras metodologias, concluiu-se que a metodologia nele empregada também mostrou-se consistente.

KEY-WORDS:

Potential Water Pollution
Cartographic Modeling
River Basin Manso- MT

ABSTRACT: WATER POLLUTION MODELLING IN THE MANSO-MT-BRASIL RIVER BASIN. The present study had by purpose to model of potential water pollution of the river basin Manso-MT. So was performed by geographic information system (GIS), the thematic mapping of punctual and diffuse sources of water pollution existing in the basin. This maps were standardized into five pollution potential categories (PRADO; NOVO, 2005), and all information pondered and synthesized as proposed modeling Chuvieco and Congalton (1989). As results we found that the sub-basins with highest potential for water pollution are present larger livestock production and high erosion potential of soils, and those with less potential pollution have more areas with ciliary forests preserved, lower potential erosion of soils and situated further from the Manso Reservoir. Since results found in this studies are in accordance with the results observed in other studies about water pollution in this basin, using other methods, it is concluded that this approach is also consistent.

RESÚMEN:

Potencial de Contaminación del
Agua
Modelaje Cartográfica
Cuenca del río Manso-MT

RESÚMEN. MODELIZACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN DEL AGUA EN LA CUENCA DEL RÍO MANSO-MT-BRASIL. El estudio tuvo como objetivo modelar la contaminación de las aguas superficiales de la cuenca del río Manso-MT. Para ello se llevó a cabo con el uso de un sistema de información geográfica la cartografía temática, a nivel de sub-cuencas, de las fuentes punto y no puntual de contaminación. Entonces, estos mapas fueron estandarizadas en cinco categorías de los potenciales de contaminación (PRADO; NOVO, 2005), y toda la información sintetizada como el modelado propuesto Chuvieco y Congalton (1989). Los resultados mostraron que las subcuencas con los más altos niveles de potencial de contaminación del agua son las que tienen la mayor producción agrícola y gran potencial de erosión del suelo, y las subcuencas con menor índice de contaminación fueron las que tienen más bosques de ribera, menos potencial erosivo del suelo y que se colocan más lejos de la Manso depósito. Dado que los resultados de este estudio están en línea con los observados en otros estudios, se encontró que la metodología es también coherente.

Introdução

A poluição decorre de uma mudança na qualidade física, química, radiológica ou biológica da água causada por atividades antropogênicas, que podem ser prejudiciais ao uso presente e futuro do respectivo recurso hídrico (BILLICH, 2007 p. 3). Diversos são os fatores que podem levar a degradação da água, sendo classificados em fontes pontuais e difusas. As fontes pontuais são essencialmente

afluentes domésticos e industriais, enquanto as fontes difusas são providas da agricultura, como fertilizantes, fungicidas, herbicidas entre outros (PRADO; NOVO, 2005, p.6).

Nesse contexto, Sperling (2005), Machado (2002), concordam que a poluição pontual decorre de fontes de poluição concentrada no espaço, enquanto a fonte de poluição difusa se dá por caminhos diversos. Também com esse intuito Lima (2001) e Tucci (2000) retratam que o meio urbano está ligado diretamente com as poluições hídricas. Libos *et al*, (2003) assegura que agricultura contribui para a contaminação dos recursos hídricos, isso decorre da lixiviação dos agrotóxicos presentes nas plantações até os mananciais.

Não apenas as atividades agrícolas, industriais e ocupação urbana provocam alterações na qualidade da água. Hernani *et al*, (1999) retrata que a erosão contribui para o aumento de nutrientes no corpo d' água, provocando assim a eutrofização do mesmo. Merten *et al* (2002) explica que a contaminação hídrica pode ser provocada por dejetos de animais. Em seus trabalhos Queiros (2001) retrata que a fonte difusa de mineração pode gerar grandes quantidades de sedimentos que são carregados pelo escoamento superficiais para os recursos hídricos.

A Bacia hidrográfica do rio Manso, está localizada numa área que vem sofrendo transformações nos padrões de uso e ocupação da terra, o que a torna suscetível a problemas de poluição. Oliveira e Santos (2010) salientam que houve uma grande evolução de 2000 a 2010 das áreas ocupadas com a produção pecuária (quase 5%) e agrícola (quase 10%) e que em decorrência desse aumento ocorreu uma sensível redução das áreas cobertas por vegetação natural (Cerrado e Florestas).

O uso de SIG como instrumento para o monitoramento de fontes de poluições em bacias hidrográficas, vem sendo segundo Morari *et al*, (2004), sendo uma ferramenta eficaz, na simulação de distribuição ou semi-distribuição da poluição. Burrough, (1998), explica que essa técnica de análise vem crescendo em suas diversas vertentes seja com o uso de modelos numéricos de terreno, para a caracterização de uso e ocupação da terra nas bacias ou no uso direto através da modelagem dinâmica.

O emprego de geotecnologias, como os sistemas de Informações Geográficas (SIG), voltadas para estudos ambientais, tem auxiliado bastante nas análises das vulnerabilidades da Bacia do Manso, confrontando as alterações decorrentes das ações humanas com aquelas das próprias fragilidades naturais desse ambiente.

Nesse sentido se insere o objetivo deste estudo de identificar e modelar as fontes de poluição hídrica da bacia do rio Manso, tanto de natureza pontuais como nas difusas, através do mapeamento das áreas com maior potencial poluidor em decorrência do tipo de uso e ocupação do solo dessa bacia

Área de estudo

A bacia hidrográfica do rio Manso possui uma área de aproximadamente 11.000 Km² e está localizada entre as coordenadas geográficas 14°32'00" e 15°40'00"S e 56°15'00" e 54°35'00"W (Figura 1), abrangendo áreas dos

municípios de Acorizal, Campo Verde, Chapada dos Guimarães, Cuiabá, Nova Brasilândia, Planalto da Serra e Rosário Oeste. O rio Manso é um dos principais formadores do rio Cuiabá que por sua vez é afluente da margem esquerda do rio Paraguai, e desta forma participa de modo significativo do sistema hidrológico das águas da bacia do Alto Paraguai/Pantanal. São seus principais contribuintes, e também formadores do reservatório da Hidrelétrica de Manso, os rios Palmeiras, Roncador, Casca e Quilombo.

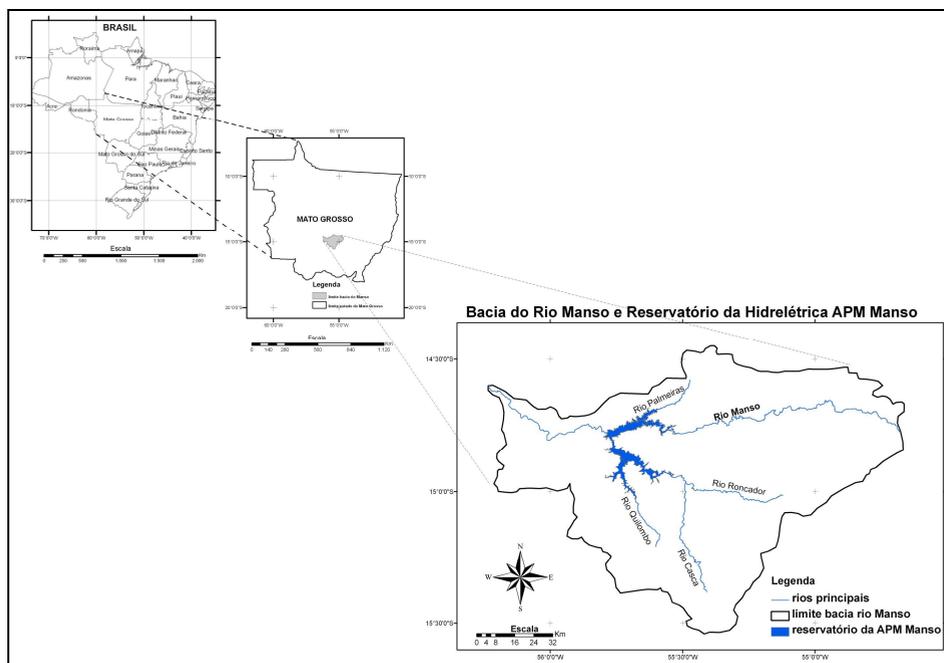


Figura 1 - Localização da Bacia Hidrográfica do rio Manso-MT

Materiais e métodos

Materiais

O primeiro passo do estudo foi o levantamento dos dados de natureza cartográfica, que serviram de base para os demais mapeamentos temáticos e análises geográficas que foram realizadas com emprego das operações de análise espacial disponíveis no Sistema de Informações Geográficas (SIG). Tais dados caracterizaram-se principalmente pelo mapa do limite físico da bacia hidrográfica do rio Manso, bem como de suas sub-bacias de quarta ordem, ambos obtidos nos resultados do processamento de um modelo de elevação digital (DEM) produzido a partir de uma imagem SRTM (CÂNDIDO; Santos, 2011) apresentando escala cartográfica aproximada de 1:100.000. Ressalta-se que tal estudo foi desenvolvido no âmbito do projeto de pesquisa da bacia do rio Manso-MT desenvolvido pelo Laboratório de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento do Departamento de Geografia da Universidade Federal de Mato Grosso/Campus de Rondonópolis.

A partir de tal base, foram produzidos os demais mapas temáticos utilizados nessa proposta de modelagem da poluição hídrica, tanto os referente as características fisiográficas quanto as antrópicas verificadas na área da bacia do rio Manso. As informações referentes as fontes de poluição hídrica pontuais (áreas de mineração e concentrações populacionais urbanas) foram obtidas junto ao Departamento Nacional de Pesquisa Mineral (DNPM), no IBGE e ainda junto as Prefeituras municipais. Já os mapeamentos das áreas das fontes de poluição hídrica difusa (áreas de produção agrícola intensivas de capital e com produção pecuária) foram realizados a partir dos resultados de dos trabalhos de Le Strat e Santos (2011) e Oliveira e Santos (2009).

Além desses, também foram utilizadas informações de fatores considerados de fragilidades ambientais naturais da bacia do Manso à processos de poluição hídrica, tais como: o potencial de erosão dos solos da bacia obtidos nos resultados de Cândido e Santos (2010); a quantidade e a posição espacial das áreas com cobertura de vegetação arbórea e de corpos hídricos na área da bacia, também obtidos nos resultados de Le Strat e Santos (2011).

Métodos

Os procedimentos metodológicos foram desenvolvidos em três etapas: 1) produção dos mapas temáticos relacionados aos fatores fisiográficos (ou ambientais) e as fontes de poluição hídrica (pontuais e difusas) da bacia; 2) Padronização das informações das classes/mapas desses fatores; 3) Ponderação dos pesos desses fatores para efeito da modelagem matemática do potencial de poluição hídrica da bacia.

Produção dos mapas temáticos dos fatores considerados na modelagem

A seguir será descrito de modo mais detalhado como foi produzido cada um dos mapas temáticos dos fatores ambientais e antrópicos utilizados na modelagem da poluição hídrica proposta nesse estudo, ressaltando-se que a maioria deles, foram transformados em "Mapas de Distância" em relação aos cursos e corpos d'água existentes em nível das sub-bacias da bacia do rio Manso, por meio de operações realizadas via SIG.

Mapas de Distância Linear das Áreas de Mineração de Ouro e das Áreas dos outros tipos de Mineração

Inicialmente gerou-se o mapa das áreas de mineração existentes na bacia, utilizando-se para tanto os dados obtidos no SIGMINE (sistema de informação geográfica da Mineração) do DNPM. Esse sistema disponibiliza um banco de dados geográfico (mapa vetorial tipo polígono e dados alfanuméricos) que contem a localização das áreas de mineração, agregadas segundo os limites estaduais e municipais, que se encontram regularmente cadastradas no DNPM, seja ainda em situação de requisição de processo de pesquisa mineral ou já com lavra ativa.

Visto que tal mapa apresenta os polígonos com a área total autorizada pelo DNPM para a exploração mineral (lavra), e que por vezes está não representa a

área real que está sendo explorada, decidiu-se ajustar tais polígonos, a partir das imagens disponibilizadas no programa *Google Earth* para os limites das áreas realmente já abertas em cada um até o ano de 2012.

Assim uma vez definidas as áreas que realmente já estavam em situação de lavra mineral na bacia, o passo seguinte foi subdividir tal mapa em dois: um para as áreas de mineração de ouro e outro agregando todas as demais tipos de extração mineral existente nos limites da bacia. Por fim foi aplicada uma operação de distância linear sobre cada um desses mapas dando origem assim aos mapas de Distância Linear de Mineração de Ouro e Mapa de distância Linear de Outras Minerações.

Mapa do Volume dos Dejetos Bovinos produzidos na Bacia

Para gerar o mapa de totais de bovinos na bacia, foi necessário considerar os totais do rebanho bovino e das áreas de pastagens, agregados segundo as áreas dos municípios abrangidos pela bacia do rio Manso. E num segundo momento, tomar tais informações ajustadas segundo o tamanho das áreas desses municípios efetivamente contidas no limite da bacia. Essas informações foram resgatadas junto ao banco de dados do Projeto Manso, e foram resultado do estudo elaborado por Oliveira e Santos (2009). Tais resultados foram novamente ajustados segundo as áreas das sub-bacias da bacia hidrográfica do rio Manso, por meio de uma operação de cruzamento via SIG dos mapas dos totais de bovinos na bacia com o mapa de sub-bacias, permitindo assim, se conhecer os totais de bois por sub-bacias da bacia do rio Manso.

Já para se estimar o volume de dejetos bovinos produzidos na bacia, primeiro foi calculado a quantidade de dejetos que um boi produz ao dia, utilizando para tanto, dados obtidos por Haynesfr & Williams (1993) e Mathews & Sollenberger, (1996) citados por Rodrigues *et al* (2008). De acordo com tais estudos uma bovina adulta urina de 12,8 a 24,4 litros/dia. Já com relação à produção de estrume segundo os autores, um bovino defeca 11 a 16 vezes por dia, e em cada evento produz de 1,5 a 2,7 kg de fezes. De posse dessas duas informações adotou-se para produção desse mapa o valor médio de 38 kg/animal/dia de dejetos sendo 13 kg referente à urina e 25 referente ao estrume. Assim, o total diário de dejetos produzidos pelos bovinos em cada sub-bacia foi estimado através de uma operação simples de multiplicação do total de bovinos de cada sub-bacia pelo valor 38 realizada via SIG.

Mapa de Distancia das Áreas de Produção Agrícola aos Cursos e Corpos D'água

Tal mapa foi produzido a partir de uma operação de reclassificação via SIG do mapa de uso da terra produzido por Le Strat e Santos (2011) na qual a classe de área de produção agrícola recebeu o código 1 e as demais classes receberam o código "zero". E num segundo momento esse mapa passou por outra operação geográfica via SIG, a de Distância Linear, gerando assim o mapa de distancia das áreas agrícolas da bacia.

Mapa de Densidade Populacional

O mapa de densidade populacional foi gerado em duas etapas. Na primeira utilizou-se o mapa de "localidades", produzido pela Secretaria de Planejamento do Governo do Estado de Mato Grosso (SEPLAN-MT) o qual espacializa a localização dos distritos urbanos e das sedes municipais existentes nos municípios do Estado. Já para a obtenção, dos totais de população dessas áreas urbanas, se deu a partir de dados levantados no Censo Populacional (IBGE, 2011) ou junto as Prefeituras desses municípios.

Na segunda etapa, foi produzido o Mapa de Densidade Populacional da Bacia a partir do lançamento de pontos com as coordenadas geográficas das áreas urbanas (distritos e sedes municipais) existentes na área bacia, obtidas no mapa de "localidades" da SEPLAN-MT e para cada ponto se agregou, via a tabela de atributos das geometrias, os totais de população a ele correspondentes dos totais de população apuradas para cada uma. Em seguida as coordenadas de localização dessas áreas foram refinadas com apoio de imagens de altíssima resolução espacial disponibilizadas no programa *Google Earth*.

Num terceiro momento foi aplicada via SIG a operação geográfica de análise de densidade sobre tal mapa, empregando a metodologia de Kernel que estima via interpolação a intensidade de ocorrência de fenômenos pontuais numa determinada faixa de área. Para tanto, adotou-se como parâmetros para essa interpolação um raio de influência de no máximo 4km a partir do ponto central dessas áreas urbanas. Tal raio foi definido a partir de uma inspeção com auxílio da ferramenta de medições do programa *Google Earth* sobre o tamanho médio das áreas ocupadas por tais espaços urbanos. A partir disso, a função de kernel calculou a distribuição da densidade populacional dentro do raio definido e segundo os totais populacionais existentes em cada localidade urbana obtendo-se assim densidades populacionais que variam de 0,4 à 60 habitantes/Km². Por fim foi definido os pesos para as possíveis contribuições desse fator segundo as diferentes faixas de densidade populacional estimadas dentro de cada raio espacial conforme pesos expressos na Tabela 1.

Também se adotou nesse estudo, "análise de proximidades múltiplas", para estimar o potencial de contribuição para a poluição hídrica das águas superficiais da bacia em função da distância euclidiana de alguns fatores, ora aos cursos d'água da bacia e ora ao reservatório de Manso.

Mapa de Distância da Vegetação Arbórea aos Cursos e Corpos D'água

Com o mapa de distância da vegetação de grande porte aos cursos d'água, buscou-se estimar o potencial de fragilidade desses ao carreamento de poluições difusas pelas chuvas, uma vez que as matas ciliares funcionam como "filtros" protegendo os cursos d'água desse tipo de poluição. Para produzir tal mapa foi realizado via SIG uma operação geográfica de reclassificação sobre as classes do mapa de uso da terra da bacia do Manso, produzido por Le Strat e Santos (2011), na qual a classe Matas recebeu o código 1 e as demais classes o código "zero". Num segundo Momento esse Mapa de Vegetação de Matas passou por outra operação no SIG, a de distância linear, resultando no Mapa de Distância da Vegetação Arbórea aos cursos e corpos d'água da bacia.

Mapa de Distância das Sub-bacias ao Reservatório Manso

Esse mapa foi produzido a partir do mapa vetorial do limite/contorno do reservatório de Manso, principal corpo hídrico dessa bacia, elaborado a partir da classificação de uma imagem TM do satélite *Landsat*. Com emprego de tal mapa vetorial e bem como do mapa dos limites de cada sub-bacia da bacia do Manso foi aplicada no SIG a operação de distância linear, resultando assim no mapa de distância das sub-bacias ao reservatório de Manso.

Mapa do Potencial Erosivo dos Solos da Bacia

O Mapa do potencial erosivo dos solos da bacia hidrográfica do Rio Manso foi produzido a partir de um operação de reclassificação em 5 classes dos índices de erosão (T/ha/ano) encontrados por Cândido e Santos (2009), a partir de metodologia proposta por Neves, Neves e Fornelos (2008). Nesse estudo que teve como propósito determinar o potencial de erosão na bacia do Manso, os autores utilizaram a Equação Universal de Perdas do solo proposta por Wischmeier & Smith (1978) e usaram o mapeamento de tipos de solos da bacia produzido pelo projeto PRODEAGRO (Mato Grosso, 2002).

Fatores	Classes	Nível de Contribuição
Distância (m) área produção agrícola	<200	Muito Alto
	200 a <400	Alto
	400 a <800	Moderado
	800 a <1600	Baixo
	> 1600	Muito Baixo
Distância (m) área mineração de ouro	<100	Muito Alto
	100 a <200	Alto
	200 a <600	Moderado
	600 a <1000	Baixo
Distância (m) área outras minerações	>1000	Muito Baixo
	<250	Muito Alto
	250 a <500	Alto
	500 a <1000	Moderado
	1000 a <2000	Baixo
Potencial de Erosão dos Solos da bacia (T.ha ⁻¹ .ano ⁻¹)	>2000	Muito Baixo
	>400	Muito Alto
	200 a <400	Alto
	50 a <200	Moderado
Densidade Populacional (hab/km ²)	10 a <50	Baixo
	<10	Muito Baixo
	>3000	Muito Alto
	1000 a <3000	Alto
	400 a <1000	Moderado
Volume de Dejetos Bovinos (Kg/animal/ano)	100 a <400	Baixo
	<100	Muito Baixo
	>76000	Muito Alto
	60800 a <76000	Alto
	45600 a <60800	Moderado
Distância (m) sub-bacias ao reservatório	15200 a <45600	Baixo
	<15200	Muito Baixo
	<500	Muito Alto
	500 a <1000	Alto
	1000 a <2000	Moderado
Distância (m) matas aos cursos e corpos d'água	2000 a <4000	Baixo
	>4000	Muito Baixo
	>800	Muito Alto
	400 a <800	Alto
	200 a <400	Moderado
	100 a <200	Baixo
	<100	Muito Baixo

Tabela 1 - Critérios utilizados na padronização dos valores dos mapas temáticos

Padronização dos valores dos fatores

Os mapas temáticos produzidos, apresentavam-se originalmente com várias unidades quantitativas (metros, quilogramas, densidade de habitantes por quilômetro quadrado etc), exigindo assim, que os mesmos tivessem seus valores padronizados para efeito de comparação e avaliação pareada. Desse modo, suas informações, expressas nas legendas de suas classes, foram padronizadas, com base na proposta de Prado e Novo (2005) para cinco categorias de níveis de contribuição de potencial poluidor das águas superficiais da bacia: 1-Muito Baixo; 2-Baixo, 3-Médio, 4- Alto, 5- Muito Alto (Tabela 1). Para tanto, analisou uma por uma as informações das legendas de cada mapa, levando-se em conta os seguintes parâmetros: concentração espacial (densidade), volumes produzidos (intensidade), e a distância aos cursos e corpos d'água.

Ponderação dos pesos de cada fator/mapa temático

Uma vez que todos os mapas temáticos já encontravam-se com os valores de suas informações padronizados para as 5 categorias de nível de contribuição, foi possível montar um modelo matemático para ponderar a importância relativa de cada fator/mapa no processo de poluição hídrica das águas superficiais na Bacia do Manso. Para tanto se optou pela análise de critérios múltiplos através de combinação linear ponderada implementada em SIG através de álgebra de mapas.

Para definição dos pesos de cada fator nesse modelo linear os mesmos foram analisados em conjunto numa matriz pareada (Tabela 2) organizada com base na proposta da escala fundamental de Saaty (1977). Em tal matriz pode-se definir linearmente a hierarquia de importância dos fatores pré-definidos.

A escolha dos pesos de cada fator nessa matriz se deu pelo emprego da proposta de Chuvieco e Congalton (1989) e a partir da experiência obtida pelos autores com a realização de diversos trabalhos de campo nessa bacia, bem como, por meio de informações obtidas na revisão bibliográfica de estudos com mesmo propósito já realizados na Bacia do Manso.

Ressalta-se que a combinação linear é um método que permite que os dados dos diferentes fatores considerados na modelagem sejam agregados de forma linear, mas preservando a relativa hierarquia de importância individual dos mesmos. Desse modo ele garante que o resultado final seja realmente uma ponderação das influências tanto positivas como negativas de cada fator consideradas no mapa final do potencial de poluição hídrica da bacia.

De posse dos pesos estabelecidos na Tabela 2, o modelo matemático para elaboração do mapa de potencial poluidor das sub-bacias foi o seguinte:

$$\text{MODELO DO POTENCIAL POLUIDOR} = 6*\text{DIS_OUT_MIN} + 7*\text{DIS_MIN_OURO} + 10*\text{DIS_SUB-BAC_RES} + 10*\text{DIS_MATAS} + 12*\text{DENS_POP_HUM} + 14*\text{DEJ_BOV} + 14*\text{DIS_AGRI} + 18*\text{POT_EROSÃO}$$

Fatores	Pesos
Distância Área Mineração de Ouro	7
Distância Área outras minerações	6
Distância Sub-bacia ao Reservatório	10
Distância Vegetação Árborea aos Cursos e Corpos d'água	10
Densidade Populacional na Bacia (hab/Km ²)	12
Volume de Dejetos Bovinos	14
Distância Áreas prod Agrícola aos Cursos e Corpos d'água	14
Potencial de Erosão dos Solos da Bacia	18

Tabela 2- Matriz de Comparação Pareada dos Fatores utilizados no Modelo

Discussão

A Figura2 (a,b,c,d,e,f,g,h) apresenta em seqüência cada um dos mapas temáticos empregados nessa modelização bem como a distribuição espacial, segundo os limites das sub-bacias, dos níveis de contribuição desses fatores à poluição hídrica da bacia do rio Manso.

O nível de contribuição dos fatores mapeados à poluição hídrica da bacia

De acordo com os resultados apresentados na Figura2-a os processos erosivos ocorre com maior intensidade nos setores centro-sul da bacia, região das sub-bacias: Sub-casca, Roncador, Médio Manso e Quilombo. Nesta região da bacia constata-se perdas de solo superiores a 400 t. ha⁻¹. Ano⁻¹. Nessas localidades a perda de solo é maior em razão da ocorrência de relevos residuais (morros testemunhos) ao norte, noroeste e nas escarpas no contado do Planalto dos Guimarães com a Depressão Cuiabana, áreas essas com maior declividade conforme verificado por Cândido e Santos (2010). Considerando-se a interação desse fator com o uso e ocupação do solo na bacia, as áreas mais preocupantes são as situadas nos limites das sub-bacias Sub-casca, Roncador e Quilombo. As duas primeiras por concentrarem grandes áreas utilizadas para produção agrícola em moldes comerciais, que mesmo utilizando sistema de plantio direto, nos períodos de rotação de culturas acabam por "trabalhar o solo" revolvendo-o e tornando-o mais frágil aos processos erosivos. Já na última (sub-bacia Quilombo) há significativa área utilizada para a produção pecuária (gado bovino), ocorrendo por isso elevada compactação do solo pelo pisoteio do gado, favorecendo assim, os processos erosivos.

Analisando-se a distribuição espacial dos 21.783.628 hectares de pastagem e das 570.360 cabeças de gado bovino pelas 11 sub-bacias da bacia do rio Manso (Figura2-b), observa-se que as maiores concentrações (Muito Alto) dessas áreas/rebanhos ocorrem de modo geral nas áreas das cabeceiras dos rios Manso (sub-bacia Finca-Faca) e Quilombo (sub-bacia Quilombo). Contudo as sub-bacias Sub-casca e Palmeira também apresentam Alta concentração da atividade pecuária nesta bacia. Já as sub-bacias com menor concentração (Moderado à Baixo) são: Baixo-manso, Caiana, Cavalos, Cabras, Mutum e Caiana. Já as sub-

bacias com maior potencial de poluição das águas do reservatório de Manso, em razão de estarem localizadas mais próximas do mesmo, seriam as sub-bacias Palmeira, Quilombo e Sub-casca.

Com relação ao risco de contaminação das águas superficiais da bacia em função do carreamento para as mesmas de resíduos lixiviados pelas chuvas dos solos das áreas de produção agrícola intensiva de capital, observou-se que as áreas com maior potencial estão concentradas nos setores sul/sudeste (sub-bacias Sub-casca, Roncador e Caiana) da Bacia do Manso (Figura2-c).

No mapeamento do fator "distância das área de vegetação arbórea aos cursos e corpos d'água, Matas" (Figura2-d) adotou-se como critério de ponderação, maior penalização das sub-bacias que não preservaram suas matas ciliares. Assim, uma sub-bacia com menor quantidade de matas, mas com estas preservadas ao longo dos seus cursos d'água (funcionando como "filtro" de poluição) foi menos penalizada do que outra com maior quantidade de matas, porém situadas longe dos seus cursos d'água. Desse modo, as sub-bacias com menor preservação das matas ciliares foram praticamente as mesmas com maior presença de áreas de produção agrícola (sub-bacias Roncador, Sub-casca e Quilombo) situadas nos setores sul/sudeste da bacia do Manso (Figura2-c), indicando o alto grau de associação entre esses dois fenômenos.

O crescimento populacional concentrado em espaços urbanos é uma das principais causas da degradação da qualidade da água, visto que proporcionalmente a ele, há um aumento também na produção de resíduos líquidos decorrentes das atividades econômicas urbanas e do esgoto gerado nos domicílios, que em sua grande maioria são lançados nos corpos d'água *in natura* (PRADO e NOVO 2005). Desse modo, considerando-se as densidades populacionais nas sub-bacias da bacia do rio Manso (Figura2-e), verificou-se que a sub-bacia do Quilombo é a que tem maior potencial para contribuir para o processo de degradação das águas superficiais dessa bacia. Também apresentaram potenciais expressivos nesse mapa as sub-bacias Finca-faca, Sub-casca, Baixo Manso e Cavalos.

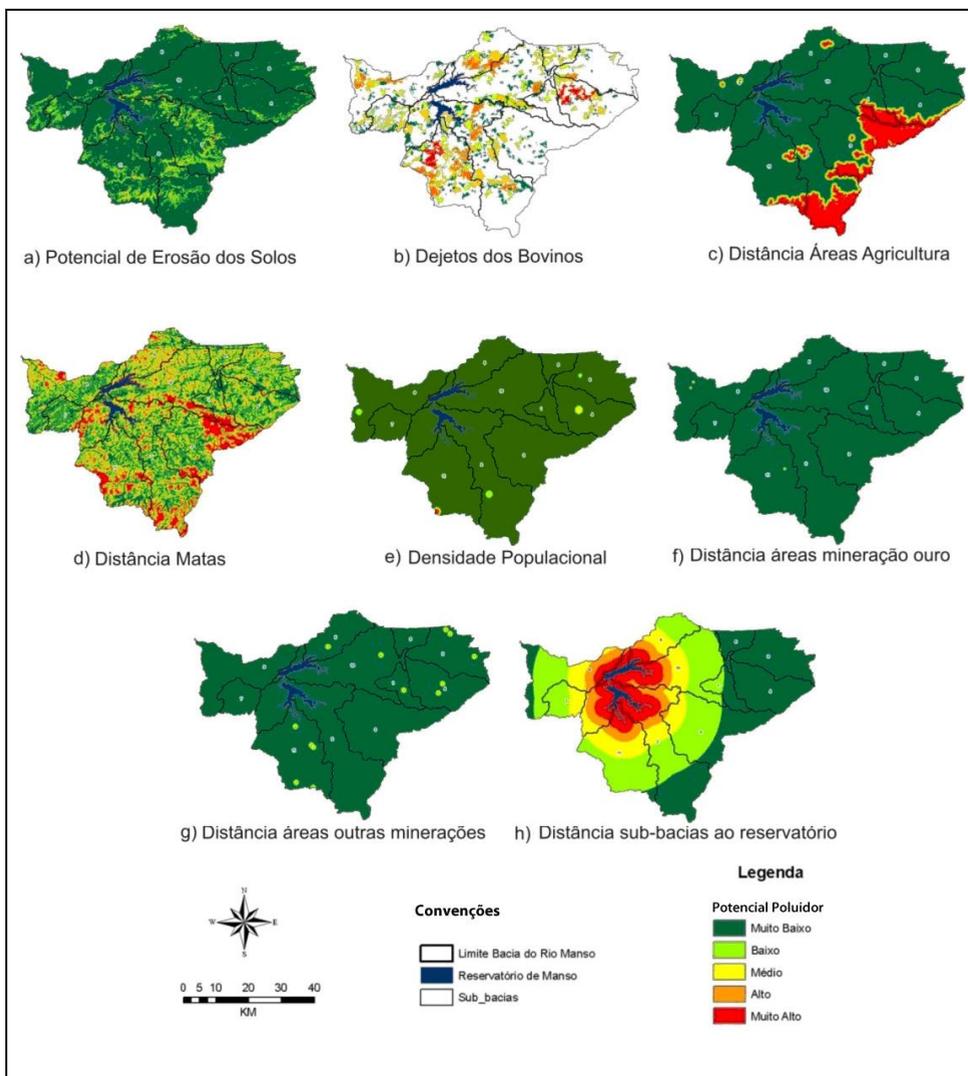


Figura 2 – Mapas Temáticos dos Fatores Ambientais e Antrópicos Utilizados na Modelagem do Potencial de Poluição Hídrica da Bacia Hidrográfica do Rio Manso-MT

Já em termos de potencial de poluição das águas superficiais em decorrência de atividades de mineração na bacia do Manso, verificou-se que de modo geral a contribuição desse fenômeno não é muito alto nessa bacia, visto que são explorações que ocupam áreas relativamente pequenas. Verificou-se que a extração de ouro ocorre basicamente em duas das suas sub-bacias: Baixo Manso (2.053.3 ha) e Quilombo (65.79 ha) (Figura2-f). E além destas, também há extração de outros minérios (potássio, calcário, diamante etc) na bacia, que somados correspondem a uma área de cerca de 24.400ha a qual se distribui por seis sub-bacias: Quilombo, Cavalos, Finca-faca, Caiana, Palmeira e Médio Manso, (Figura2-g).

Outro fator considerado como de grande importância para a poluição das águas superficiais da bacia, e sobretudo as do reservatório de Manso, foi a

distância das sub-bacias ao corpo do reservatório. Para este fator, observou-se que as sub-bacias mais afastadas e portanto, com menor contribuição para poluição de suas águas, são aquelas que localizam-se a distâncias superiores a 4.000 metros (sub-bacia Finsa-Faca, Cavalos, Caiana e Cabras). Por outro lado, as sub-bacias Palmeira, Médio Manso, Sub-casca e Quilombo apresentam maior potencial (muito alto) (Figura2-h) já que se situam próximas ao reservatório.

Mapa do potencial de poluição hídrica da Bacia do Manso

Uma vez aplicado o modelo matemático que realiza a combinação linear ponderada dos pesos dos diferentes fatores considerados nessa modelização, foi possível observar o potencial de poluição hídrica das águas superficiais de cada sub-bacia da bacia hidrográfica do rio Manso (Figura3).

É importante frisar ainda que, a partir da alteração dos pesos dos fatores utilizados nesse modelo, é possível simular diferentes cenários de evolução desse fenômeno na bacia, permitindo deste modo, se avaliar o impacto que, por exemplo, a tendência de aumento do desmatamento das matas ciliares, podem promover sobre o mesmo.

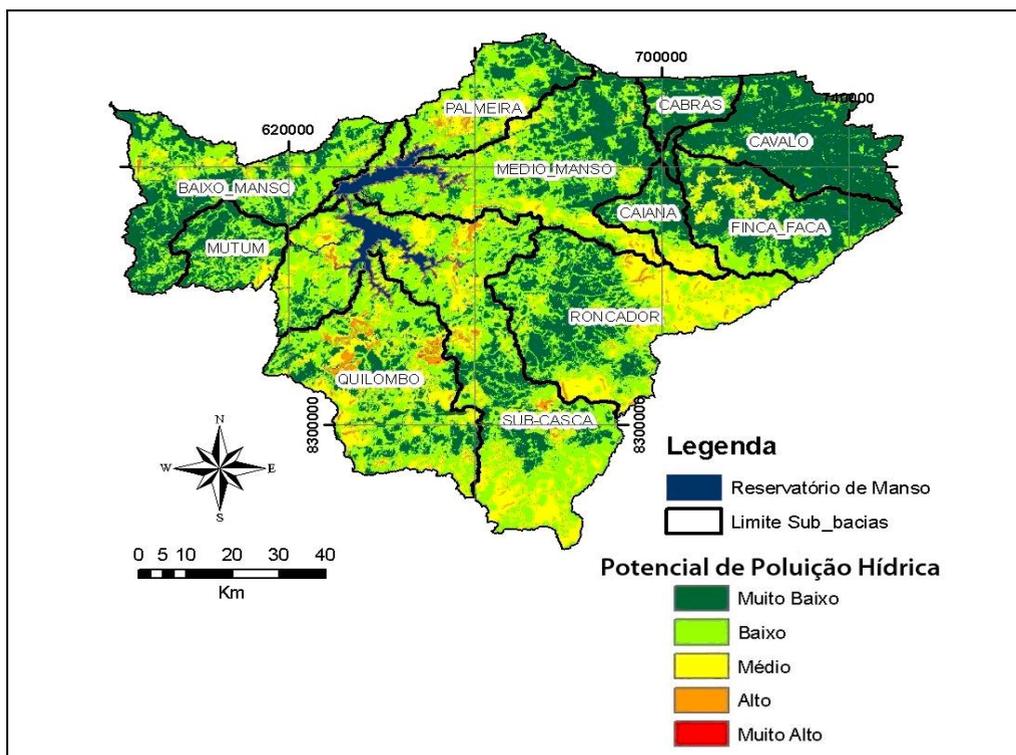


Figura 3- Mapa do Potencial Poluidor das Sub-bacias da Bacia Hidrográfica do Rio Manso-MT

Conforme pode-se verificar na Figura3, as sub-bacias Quilombo, Sub-casca, Roncador e Palmeira, são as que atualmente apresentam maior potencial de contribuição para o processo de poluição hídrica das águas superficiais da bacia

do rio Manso, e principalmente, das águas do reservatório de Manso. Tal cenário decorre principalmente pela atuação conjunta e combinada dos seguintes fatores: a) elas possuem grandes áreas utilizadas para produção agrícola comercial (produção com nível elevado de operações mecanizadas e forte apelo a utilização de insumos artificiais); b) detém a maior concentração de rebanho bovino da bacia com um plantel de cerca de 122 mil cabeças; c) os processos erosivos ocorrem com maior intensidade em seus limites, pois são áreas que possuem extensas áreas de solos expostos e terrenos com fortes declividades; d) detém as maiores densidades de população urbana; e) são áreas que se localizam mais próximas ao reservatório de Manso.

Por outro lado, as sub-bacias Cabras, Cavalos e Mutum são as que apresentam o menor potencial de contribuição para o processo de degradação da qualidade das águas superficiais da bacia, isso devido: a) possuem extensas áreas de matas preservadas protegendo as suas redes de drenagem e não deixando os solos expostos para o processo erosivo; b) praticamente não possuem áreas de com agricultura comercial; c) estão localizadas ha maior distancia do reservatório de Manso; d) a quantidade de rebanho bovino é de apenas 46.961 cabeças, gerando uma poluição de origem orgânica (dejetos de bovinos) quase insignificante em relação à observada nas outras sub-bacias da bacia do Manso.

Ainda que não tenhamos encontrado na revisão da literatura nenhum estudo realizado com o mesmo objetivo nesta bacia, e que tenha utilizado os mesmos procedimentos metodológicos adotados neste estudo, foi possível confrontar os resultados aqui obtidos com os de outros pesquisadores graças à representação especializada dos resultados de tais pesquisas.

Assim, analisando o estudo realizado por Libos *et. al*, (2002), que buscou modelar as poluição não pontual na bacia do Rio Cuiabá, verificou-se que as áreas identificadas pelos autores com sendo de maior contribuição para o processo de degradação da qualidade das água superficiais na Bacia do Rio Manso são aquelas situadas próximas às áreas de produção agrícola da porção leste, oeste e sul da bacia (áreas planas do Planalto dos Guimarães), onde também ocorrem solos expostos e maiores concentrações de populações urbanas na bacia. Além disso, os autores identificaram ainda, a área da sub-bacia Palmeira, como tendo alto potencial de contribuição de poluição hídrica. Deste modo, tais resultados apresentam-se em conformidade com os encontrados no presente estudo.

Zeilhofer *et. al*, (2005) estudando as áreas de maior concentração de poluentes hídricas na bacia do Manso, observou que estas situam-se sobretudo nas cabeceiras dos rios Casca e Quilombo, e as com menor concentração, estão localizadas nas cabeceiras do rio Manso e próximas à saída da bacia, onde a vegetação nativa esta mais preservada. Resultados que são congruentes em parte com os verificados no presente estudo, mesmo empregando metodologia bastante distinta da utilizada no presente estudo.

Desse modo, observa-se que apesar dos estudos a cima citados terem utilizado outras propostas metodológicas visando modelar o potencial de poluição hídrica decorrente sobretudo das ações antrópicas desenvolvidas na bacia do Manso, seus resultados não apresentam-se discordantes dos encontrados no presente estudo, indicando que a metodologia aqui proposta também é consistente para tal finalidade.

Conclusão

Com relação à influência dos fatores antrópicos sobre a qualidade das águas superficiais, relacionados ao uso da terra na bacia do Manso, concluí-se que algumas sub-bacias já apresentam níveis elevados de comprometimento da qualidade das águas superficiais da bacia, tanto em relação aos cursos d'água como em relação as água do corpo do Reservatório de Manso. Situação esta que demanda adoção urgente de medidas para ordenamento do uso da terra a fim de se garantir a preservação dos recursos hídricos da bacia.

Com relação à metodologia empregada no estudo, visto que os resultados nele encontrados não apresentaram significativas discordâncias com os obtidos em outras propostas de modelagens hídricas implantadas na bacia do Manso, concluí-se que ela também é consistente para tal fim, despontando assim como uma alternativa viável e eficaz a ser utilizada pelos gestores públicos no sentido de se avaliar a pressão do uso da terra na preservação dos recursos hídricos nas bacias hidrográficas. Além disso, visto que ela permite também a simulação de cenários, é possível aproveitá-la para se elaborar políticas de ordenamento territorial que possam de fato, garantir o uso racional e sustentado da água pela sociedade.

Referências

- BILICH, M. R. Ocupação das terras e a qualidade da água na microbacia do ribeirão Mestre D'Armas, Distrito Federal. Brasília, 2007, 134p. Dissertação (Mestrado em Medicina Veterinária), Universidade de Brasília, Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Brasília-DF, 2007.
- BURROUGH, P. A. Geocomputation: a primer. London: John Wiley & Sons, 1998.
- CÂNDIDO, A. K. A. A.; SANTOS, J. W. M. C. Mapeamento das áreas com solos com alto potencial de erosão na área da bacia do rio Manso - MT – Anais 2º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, Corumbá, MS, 07-09 de novembro 2009, Embrapa Informática Agropecuária/INPE, p.747-755.
- CÂNDIDO, A. K. A. A.; SANTOS, J. W. M. C. Mapeamento e Análise morfométrica da rede de drenagem da bacia hidrográfica do Rio Manso-MT a partir de um DEM – Anais 3º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, Cáceres, MT, 16-20 de outubro 2010, Embrapa Informática Agropecuária/INPE, p.114-124.
- CÂNDIDO, A. K. A. A.; SANTOS, J. W. M. C. Avaliação de métodos de delimitação automática de sub-bacias da bacia hidrográfica do Rio Manso-MT a partir de MDE. Anais do 15º Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Curitiba, PR, 30 de outubro a 5 maio de 2011, INPE, p.1121-1128.
- CHUVIECO, E.; CONGALTON, R.G - Application of remote sensing and geographic information systems to forest fire hazard mapping - Remote sensing of environment, v. 29, p. 147-59, 1989
- GOOGLE EARTH 6.0. Disponível em :<<http://earth.google.com/>>. Acesso em: 05 set. 2012.
- IBGE. Censo Demográfico 2010 - Resultados do universo. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 20 out. 2012
- LE STRAT, A.; SANTOS, J. W. M. C. Avaliação das mudanças de uso do solo na bacia hidrográfica do rio manso – MT – Brasil. Anais xv Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR, Curitiba, PR, Brasil, 30 de abril a 05 de maio de 2011, INPE. p. 6081-6088.
- LIBOS et al. Modelagem da Poluição não Pontual na Bacia do Rio Cuiabá Baseada em Geoprocessamento – RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos - Volume 8 n.4 Out/Dez 2003, 115-135
- LIBOS, M. I. P. D. C. Modelagem da Poluição Não Pontual na Bacia do Rio Cuiabá Baseada em Geoprocessamento. Rio de Janeiro, 2002, 269 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil)- Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE (COPPE/UFRJ), 2002.

- LIMA, E. B. N. R. Modelagem Integrada para Gestão da Qualidade da Água na Bacia do Rio Cuiabá. Tese (Doutorado em Engenharia Civil), Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro, RJ, 2001.
- MACHADO, R. E. Simulação de Escoamento e de Produção de Sedimentos em uma Microbacia Hidrográfica Utilizando Técnicas de Modelagem e Geoprocessamento - Piracicaba-SP. 154 p. Tese (Doutorado em Agronomia), Escola Superior de Agricultura Luis de Queiros, 2002.
- MATHEWS, B.W.; SOLLENBERGER, L.E. Grazing systems and spatial distribution of nutrients in pastures: soil considerations. In: NUTRIENT CYCLING IN FORAGE SYSTEMS. 1996, Columbia. Proceedings... Columbia: University of Missouri, 1996. p.213-229.
- MERTEN, G. H.; MINELLA, J. P.; - Qualidade da água em bacias hidrográficas rurais: um desafio atual para a sobrevivência futura. Agroecol. e Desenvol. Rur. Sustent. Porto Alegre, v.3, n.4, out/dez 2002
- MORARI, F., LUGATO, E., BORIN, M. An integrated non-point source model-GIS system for selecting criterion of best management practices in the Po Valley, North Italy. Agriculture, Ecosystems and Environment. (102:247-262), 2004.
- NEVES, S. M. A. S.; NEVES, R. J.; FORNELLOS, L. F. Aplicação de imagens do radar interferométrico (SRTM) na avaliação de fragilidade da Bacia do Córrego Cachoeirinha, nos municípios de Cáceres e Porto Estrela/MT. Rev. Geogr. Acadêmica, Cáceres, v.2, n.2, p. 124-137, 2008. Disponível em: <<http://www.rga.ggf.br/index.php?journal=rga&page=article&op=view&path%5B%5D=37&path%5B%5D=37>>. Acesso em 09 Abr. 2009
- OLIVEIRA, T. D. S.; SANTOS, J. W. M. C.; Mapeamento da densidade dos rebanhos produzidos na bacia hidrográfica do rio Manso – MT; In: Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, 2, 2009, Corumbá, MS. Anais... Campinas: Embrapa Informática Agropecuária; São José dos Campos: INPE, 2009, p. 935-943.
- PRADO, R. B., NOVO, E. M. L. M. Aplicação de geotecnologias na modelagem do potencial poluidor das sub-bacias de contribuição para o reservatório de Barra Bonita – SP relacionado à qualidade da água. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 12, Goiânia, Brasil, Anais ..., 16-21 abril 2005, INPE, p. 3253-3260.
- MATO GROSSO. Secretaria de Estado de Planejamento e Coordenação Geral (SEPLAN). Zoneamento Sócio-econômico-ecológico Projeto de Desenvolvimento Agroambiental do Estado de Mato Grosso - PRODEAGRO. Formações Vegetais/Uso e Ocupação do Solo - Escala 1:250.000. Cuiabá-MT, Nov.2002. Parte 2, 72p.
- QUEIROS, José Eduardo Nunes de. – Técnicas de geoprocessamento aplicadas ao estudo de bacias hidrográficas – O caso da bacia do rio Piracicaba, Belo Horizonte, 2001 n. p.24 – Monografia (especialização), Universidade Federal de Minas Gerais. Departamento de Cartografia.
- RODRIGUES, A. M. et al., Concentrações e quantidades de macronutrientes na excreção de animais em pastagem de capim-mombaça fertilizada com fósforo. Revista Brasileira de Zootecnia, v.37, n.6, p.990-997, 2008.
- SAATY, T. L. A. Scaling method for priorities in hierarchical structures. In: Journal of Mathematical Psychology. 1977. p. 234-281
- SPERLING, E. V. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. 3 ed. v.1 Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2005. 452p
- TUCCI, C. E. M.; et al. Cenários da Gestão da Água no Brasil: Uma Contribuição para a Visão Mundial da Água. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 5, n. 3, Jul/Set 2000, 31-43
- WISCHMEIER, W. H. & SMITH, D.D - Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning. Washington - DC, USDA, 1978. 58p. (Agriculture Handbook, 537).
- ZEILHOFER et al. Modelagem da Poluição não Pontual na Bacia do Rio Cuiabá Baseada em Geoprocessamento - RBRH – Revista Brasileira de Recursos hídricos - v. 8 n. 4 Out/Dez 2005, 115 – 135.