

PADRÕES ESPACIAIS DA QUALIDADE DA ÁGUA NA BACIA DO RIO CUIABÁ E RIO SÃO LOURENÇO - MATO GROSSO

SPATIAL PATTERNS OF WATER QUALITY IN THE CUIABÁ RIVER BASIN AND SÃO LOURENÇO RIVER BASIN - MATO GROSSO

Gabriella Costa Araujo

Departamento de Engenharia Sanitária
gabi_esa@yahoo.com.br

Peter Zeilhofer

Departamento de Geografia
zeilhoferpeter@gmail.com

RESUMO

Esta pesquisa objetivou a análise dos padrões espaço-temporais do uso e ocupação da terra e suas relações com a qualidade da água nas bacias dos Rios Cuiabá (Cba) e São Lourenço (Slo), os principais afluentes setentrionais da planície inundável do Pantanal Mato-Grossense. As influências das características sócio-ambientais foram avaliadas a partir de sete campanhas de coleta de qualidade da água realizadas entre Maio de 2006 e Novembro de 2007, em 17 pontos amostrais. Os fatores explanatórios das bacias de contribuição foram elaborados a partir de técnicas múltiplas de geoprocessamento e suas relações com as variáveis de qualidade da água avaliadas através de análises de redundância (RDA), técnica da estatística multivariada de ordenação. A RDA identificou as variáveis uso da terra, unidades pedológicas, densidade da população urbana, declividade média, área de contribuição e chuva acumulado como fatores que mais influenciaram na qualidade da água. Localizadas em áreas com intensa atividade agrícola, as sub-bacias Slo 245 e Slo 253 apresentaram maior impacto na qualidade da água por Nitrogênio Total, mas sem diminuição expressiva do Oxigênio Dissolvido. As bacias com grande população urbana, tais como Cba 437 e Cba 561 indicam deterioração em todas as variáveis avaliadas.

Palavras Chave: Recursos Hídricos, Qualidade de Água, Geoprocessamento, Pantanal Mato- Grossense.

ABSTRACT

Present study aimed the analysis of the spatio-temporal land use and occupancy patterns and its relationships with water quality in the Cuiabá (Cba) and São Lourenço (Slo) watersheds, the main northern affluents of the Pantanal floodplain. The influences of socio-environmental characteristics were evaluated by seven water quality sampling campaigns, realized between May 2006 and November 2007 at 17 stations. Explanatory factors in the contribution areas were determined by multiple GIS techniques and its relationships with water quality variables evaluated by using Redundancy Analysis (RDA), a multivariate direct ordination method. Watersheds properties which most influenced water quality were soil types, urban population density, slope, watershed size and accumulated precipitation. Streams in watersheds with intense agricultural land use such as Slo 245 and Slo 253 showed elevated Total Nitrogen concentrations, however little impact on oxygenation levels. River reaches with high urban population densities, such as Cba 437 and Cba 561 show deterioration of all evaluated water quality variables.

Key Words: Water Resources, Water Quality, GIS, Pantanal of Mato Grosso.

Recebido em: 03/06/2011

Aceito para publicação em: 07/11/2011

INTRODUÇÃO

O crescimento demográfico em conjunto com o desenvolvimento sócio-econômico estão diretamente ligados ao aumento da demanda por recursos hídricos. Problemas de qualidade da água têm suas principais origens nas práticas não-sustentáveis na agropecuária e na disposição inadequada de dejetos sólidos e líquidos, gerados por atividades domésticas e industriais (TUCCI et al., 2000, DIAS, 2001). Os poluentes derivados destas atividades, quando introduzidos em excesso nos corpos de água, criam condições de desequilíbrio ecológico, com grande consumo de oxigênio e produção de subprodutos que alteram a qualidade das águas e podem gerar implicações na saúde humana e na biota aquática.

Como base para os estudos sobre impactos e origens de problemas de qualidade da água, as técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento podem ser aplicadas, entre outros casos, no mapeamento de uso e ocupação do solo e na parametrização das bacias de contribuição.

De acordo com Dixon & Chiswell (1996) os monitoramentos especializados da qualidade da água podem gerar grandes conjuntos de dados cuja interpretação pode se tornar complexa. Os métodos da estatística multivariada permitem uma redução de dados multidimensionais e subsidia a interpretação de medições químicas, físicas e biológicas. Métodos de ordenação direta como a análise de redundância (RDA), segundo Rao (1973), permitem não somente uma análise exploratória, mas, no princípio, o desenvolvimento de modelos empíricos, descrevendo e validando as relações entre um conjunto de variáveis dependentes (ex. variáveis de qualidade de água) e fatores explanatórios (ex. uso do solo, atividade industrial) (ZEILHOFER et al., 2006).

Dentro desse cenário, uma das importantes contribuintes para a região do Pantanal, a bacia do rio Cuiabá, localizada na porção central da bacia do Alto Paraguai, sofreu, nas décadas de 70 e 80, um intenso crescimento das atividades agrícolas e da sua população, principalmente nos seus centros urbanos. Apesar da desaceleração desse crescimento a partir da década de 90 até os dias atuais, seus municípios não se estruturaram para acompanhar esse intenso processo de urbanização, que se caracterizou por uma ocupação desordenada e heterogênea, principalmente nas periferias das cidades de Cuiabá e Várzea Grande.

A ocupação eminentemente urbana desses municípios resultou em um incremento da demanda nos diversos usos das águas do rio Cuiabá e conseqüente aumento das cargas orgânicas, de nutrientes e de coliformes gerados pelos esgotos domésticos, bem como das contribuições de fontes difusas ligadas às atividades agrícolas e de criações de animais nas pequenas propriedades rurais.

Entendendo-se que para o gerenciamento adequado dos recursos hídricos de uma bacia hidrográfica seja necessário um conhecimento mais profundo das relações que se estabelecem entre as características físicas e sócio-econômicas nesse meio, definiu-se o objetivo principal deste trabalho, ou seja, conhecer e analisar as supostas correlações entre a qualidade da água superficial dos principais mananciais da bacia do rio Cuiabá e São Lourenço, e suas características geoambientais sócio-econômicas e de uso e ocupação do solo.

Os objetivos específicos deste estudo definiram-se a partir do estabelecimento de algumas hipóteses referentes ao estado da qualidade da água na bacia e, metodologicamente, à combinação de procedimentos estatísticos e da análise espacial, para elucidar relações entre características de bacias hidrográficas e a qualidade de água nos seus mananciais.

Devido à hipótese de alteração dos níveis naturais das variáveis de qualidade de água analisadas em função do uso e ocupação do solo nas bacias de contribuição, decorrentes de lançamentos pontuais e descargas difusas provenientes da atividade agropecuária, um dos objetivos específicos foi identificar as variações espaço-temporais dos parâmetros físico-químicos e bacteriológicos em 17 pontos de coleta da bacia. A segunda hipótese refere-se à eficácia da utilização de ferramentas analíticas, como: análise estatística multivariada e geoprocessamento para lidar com as complexas interações inerentes a esses instrumentos e uma base múltipla de dados de qualidade da água e características sócio-ambientais na bacia. Dessa forma objetivou-se identificar e delimitar as características físicas e de uso e ocupação do solo das bacias, a partir da análise de

imagens multiespectrais (CBERS CCD, Landsat ETM, MODIS), modelo numérico de terreno (MNT) e dados estatísticos e produtos cartográficos secundários.

ÁREA DE ESTUDO

A bacia do rio Cuiabá, uma das mais importantes para a formação da bacia do Alto Paraguai, apresenta uma superfície de aproximadamente, 37.229 km² até o último ponto de coleta deste estudo, na localidade de Porto Cercado. Estendendo-se entre os paralelos 14° 23'e 16° 41'S e 54° 40' e 56°50'W, o rio Cuiabá tem suas nascentes no município de Rosário Oeste.

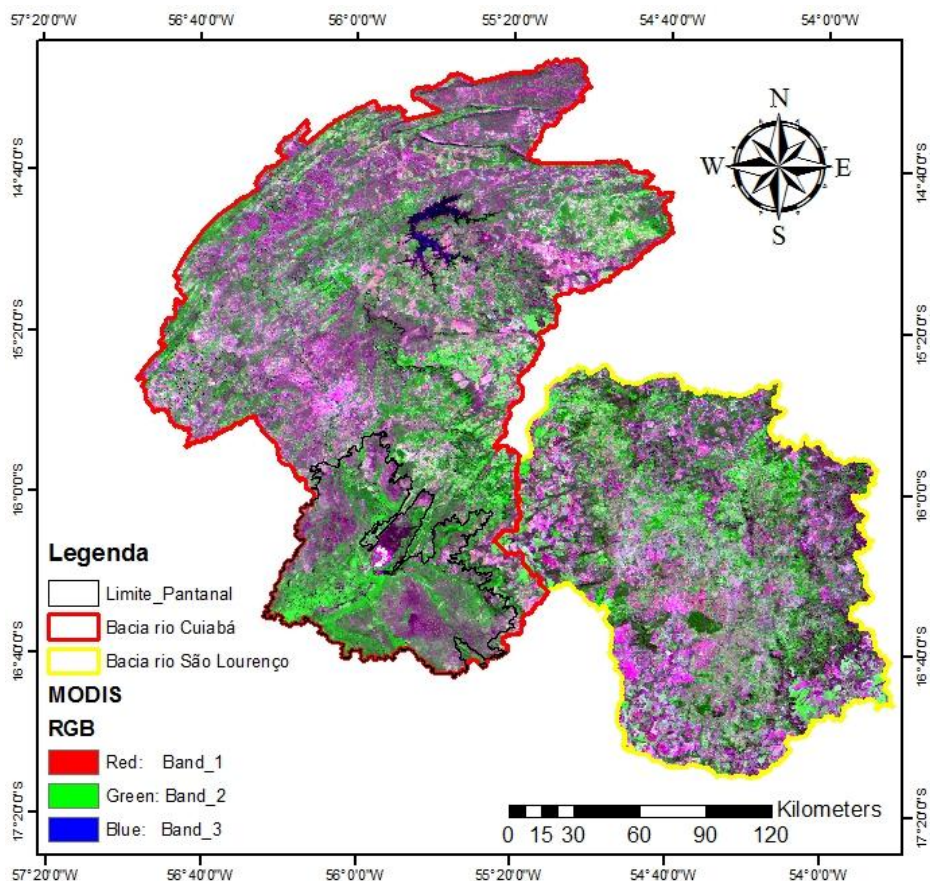


Figura 1: Área de estudo nas bacias dos rios Cuiabá e São Lourenço em uma imagem MODIS (produto MOD13Q1) de Abril de 2007.

Em função da decrescente declividade do rio Cuiabá no seu curso inferior, a velocidade e dinâmica do mesmo modificam-se, apresentando, então, características de um rio de planície, notadamente a partir da cidade de Santo Antônio do Leverger, onde as declividades passam a variar entre 10,2 cm/km e 5,6 cm/km, até a sua confluência com o rio Paraguai (Teixeira, 1997). No percurso de 828 km, desde a sua nascente até a cidade de Barão de Melgaço, tem como principais afluentes os seguintes rios: Manso, Coxipó, Aricá-Mirim e, na planície pantaneira, o Itiquira e São Lourenço.

Já a sub-bacia do Rio São Lourenço localiza-se no sudeste mato-grossense, entre as coordenadas 16°08'15" e 17°11'22"S e; 53°48'16", 03 e 54°19'3,6"W, perfazendo um total de 22.354 km². Abrange os municípios ou parte deles, de Campo Verde, Dom Aquino, Itiquira, Jaciara, Juscimeira, Pedra Preta, Rondonópolis e São José do Povo (microrregiões de Rondonópolis) e parte dos municípios de Guiratinga, Poxoréu e Alto Garças (microrregiões do Garças).

A Figura 1 apresenta a delimitação da área a ser estudada nas bacias dos rios Cuiabá e São Lourenço: até o último ponto de coleta, a localidade de Porto Cercado no município de Poconé. A delimitação da bacia do São Lourenço aqui apresentada, se dá na sua entrada na planície alagável, após a confluência com o Rio Ponte de Pedra no município de

Rondonópolis. Salienta-se que a confluência do São Lourenço encontra-se a jusante da área de estudo definida.

MATERIAL E MÉTODOS

Dados Pluviométricos

Inicialmente, foi realizado o cálculo do tempo de concentração de cada sub-bacia em análise, utilizando a expressão proposta por Giandot (1953), aplicada a grandes bacias hidrográficas naturais, isso para definir o período respectivo para cada bacia, para o qual deviam ser analisados os eventos de precipitação antes de cada coleta de qualidade de água. Foi elucidado, porém, por comunicação verbal, que as datas das coletas fornecidas pela Secretaria de Estado do Meio Ambiente de Mato Grosso (SEMA-MT) não correspondem com a data da coleta, mas sim com a data do recebimento das amostras no laboratório, sem possibilidade de reconstruir a data exata da coleta. Por esta razão, foi utilizada para todas as bacias a chuva acumulada dos cinco dias anteriores, tendo como referência o dia de análise da água, durante o período de estudo (2006-2007). Os dados diários de chuva das bacias de contribuição foram provenientes da missão TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission). A TRMM é um projeto em parceria entre a NASA e a Agência Japonesa de Exploração Aeroespacial (JAXA), e foi lançado em 27 de novembro de 1997 com o objetivo específico de monitorar e estudar a precipitação nos trópicos, além de verificar como a mesma influencia o clima global.

Dados espaciais e seu processamento

Os trabalhos de geoprocessamento foram efetuados a partir dos softwares ArcGIS 9.3 incluída a sua respectiva extensão Spatial Analyst (ESRI, Redlands) e SPRING, versão 5.0.2 (INPE). Para a extração de informações temáticas (relevo, unidades geológicas, uso e ocupação da terra etc.) por bacias de contribuição, todos os conjuntos de dados espaciais foram projetados para o sistema UTM, fuso 21, Datum SAD 69.

O software ArcGIS 9.3 foi utilizado para todas as operações SIGs, principalmente:

No recorte e cálculo das classes existentes em cada mapa temático: municípios, hidrografia, aptidão agrícola, pedologia, geomorfologia, uso e ocupação do solo; com escala igual a 1:250.000, adquiridos junto a SEPLAN e WWF (World Wildlife Fund) - Brasil;

No processamento do Modelo Numérico de Terreno (MNT), que deu origem a outros planos de informações e medidas da bacia e sub-bacias, como: área, declividade e elevação;

Na delimitação das bacias dos rios Cuiabá e São Lourenço e sub-bacias analisadas, localização da área de estudo e identificação dos usos do solo na bacia;

O MNT da bacia foi proveniente do banco de dados do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Refere-se ao projeto TOPODATA (www.dsr.inpe.br/topodata) que oferece dados topográficos e suas derivações básicas em cobertura nacional, elaborados a partir dos dados SRTM disponibilizados pelo USGS. O MNT, com resolução espacial de 30m, foi utilizado para a delimitação automatizada das áreas de contribuição dos respectivos pontos de monitoramento e para o cálculo dos planos de informação (PI) derivados como: "Direção de escoamento" e "Fluxo acumulado".

Levantamento de dados secundários e mapeamentos temáticos utilizados

Adquiriu-se junto a WWF, o mapeamento temático da classificação de uso e ocupação da terra das bacias em estudo, em escala 1:250.000. Para o presente estudo, foi feita simplificação das classes originais em nove: (Água, Vegetação Natural, Reflorestamento, Pastagem, Alteração Antrópica, Influência Urbana, Degradação por Mineração, Alteração Natural/Manejo, Agricultura).

A classe referente ao algodão foi elaborada a partir da sobreposição do mapeamento da WWF com imagens do sensor MODIS, produto MOD13Q1, com resolução espacial de 250 metros (modis.gsfc.nasa.gov), referentes aos anos de 2006 e 2007. Utilizou-se a interpretação visual para a identificação das áreas cultivadas com algodão. Foram ainda adquiridos mapas temáticos, escala 1:250.000 provenientes do Zoneamento Socioeconômico Ecológico de Mato Grosso elaborados pela da Secretaria de Estado de Planejamento e Coordenação Geral do estado (SEPLAN).

A partir da delimitação das sub-bacias analisadas, executou-se o recorte de todos os mapas temáticos. Tal ação serviu para extração dos atributos por sub-bacia resultando em uma tabela das variáveis independentes utilizadas na análise de Redundância (RDA).

Para uma análise da situação ambiental e conhecimento de dados socioeconômicos tabulares da área de estudo foram adquiridos materiais existentes sobre as bacias em pesquisa, provenientes dos órgãos públicos como: SEMA, SEPLAN, IBGE, INPE, UFMT, AMM ou através do acesso aos seus sites.

Dados de qualidade de água

O presente trabalho envolveu também o levantamento e a sistematização de dados existentes de qualidade da água dos rios Cuiabá e São Lourenço. Os dados referentes às análises físico-químicas e bacteriológicas da água foram disponibilizados pela SEMA. O monitoramento foi realizado durante os meses de Maio, Julho, Setembro e Novembro do ano de 2006; e nos meses de Março, Agosto e Novembro do ano de 2007. As variáveis de qualidade da água estudadas foram: Nitrato (NO₃-), Fósforo (P), Nitrogênio Kjeldhal Total (NTK), Oxigênio Dissolvido (OD), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Coliformes Totais (CT), Nitrito (NO₂-) e Nitrogênio Amoniacal. Foram amostrados doze pontos de monitoramento no rio Cuiabá e cinco pontos no Rio São Lourenço (Figura 2).

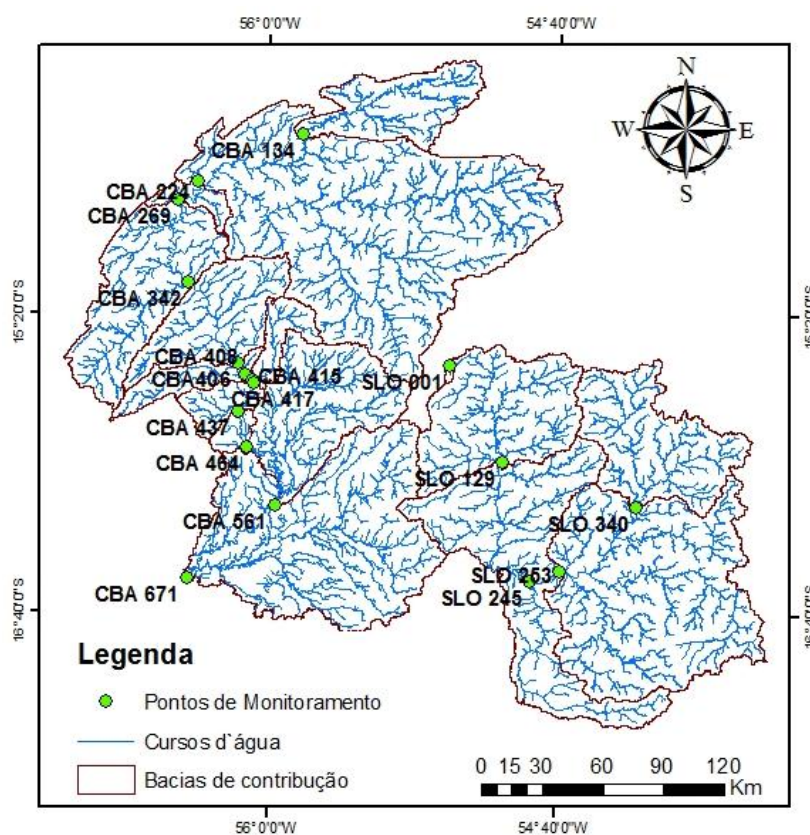


Figura 2: Pontos de monitoramento da qualidade de água nas bacias do rio Cuiabá (CBA) e São Lourenço (SLO).

A definição dos pontos de análise de qualidade da água pela SEMA foi realizada segundo critérios como: preferência por rios permanentes; facilidade de acesso aos pontos, escolhidos principalmente próximos às rodovias; áreas com diferentes tipos de usos, dando ênfase à análise em áreas com maior predomínio da cultura de soja e pecuária; maior distribuição dos pontos ao longo da área da bacia em análise.

Cada estação de coleta possui um código (Quadro 1), onde a parte alfabética da sigla (CBA – Cuiabá, SLO - São Lourenço) refere-se à bacia e os números referem-se à distância da nascente à estação de coleta (quilometragem medida pelo leito do rio). A partir

da definição da localização dos pontos de análise, as áreas das sub-bacias a montante foram delimitadas e consideradas para todas as ações que definiram as características físicas e de uso e ocupação do solo.

Quadro 1

Caracterização das estações de coleta para monitoramento da qualidade de água na bacia do rio Cuiabá e São Lourenço

Rio	Nome da Estação	Município	Código Estação	Código ANA	Altitude (m)	Coordenadas Geográficas
Cuiabá	Ponte do Marzagão	Nobres	CBA134	66133000	238	14°32'31,33" S - 55°50'50,5" W
Cuiabá	Jusante de Nobres	Nobres	CBA224	66245001	189	14°45'11,10" S - 56°19'38,8" W
Cuiabá	Ponte em Rosário Oeste MT 010	Rosário Oeste	CBA269	66250002	186	14°49'58,19" S - 56°24'51,00" W
Cuiabá	Acorizal	Acorizal	CBA342	66255000	173	15°12'16,22" S - 56°22'0,60" W
Cuiabá	Passagem da Conceição	Cuiabá	CBA406	66259200	153	15°33'53,52" S - 56°8'29,83" W
Cuiabá	Jusante do Córrego Mané Pinto	Cuiabá	CBA408	66259301	156	15°36'58,1" S - 56°6'22,53" W
Cuiabá	Jusante do Córrego Barbado	Cuiabá	CBA415	66259305	147	15°38'25,66" S - 56°4'35,18" W
Cuiabá	Jusante do Córrego São Gonçalo	Cuiabá	CBA417	66259309	147	15°39'0,21" S - 56°4'11,61" W
Cuiabá	Jusante do Córrego Ribeirão dos Cocais	Cuiabá	CBA437	66260151	135	15°46'51,03" S - 56°8'34,59" W
Cuiabá	Praia do Poço	Santo Antônio do Leverger	CBA464	66260152	142	15°54'48,22" S - 56°1'47,27" W
Cuiabá	Jusante de Barão de Melgaço	Barão de Melgaço	CBA561	66296000	138	16°11'43,19" S - 55°58'7,27" W
Cuiabá	Jusante de Porto Cercado	Poconé	CBA671	66341000	122	16°31'13,17" S - 56°22'31,91" W
São Lourenço	Campo Verde	Campo Verde	SLO001	66375300	676	15°34'17,65" S - 55°9'48,42" W
São Lourenço	Ponte BR 364	Jaciara	SLO129	66448000	246	15°59'52,24" S - 54°55'19,79" W
Vermelho	Jarudore	Jarudore	SLO340	66430000	239	16°11'46,73" S - 54°18'3,45" W
Vermelho	Ponte BR 364 em Rondonópolis	Rondonópolis	SLO253	66448000	206	16°28'46,49" S - 54°39'6,45" W
Vermelho	Ponte de Pedra	Rondonópolis	SLO245	66449000	204	16°31'47,04" S - 54°47'27,47" W

Ordenação

Para estudar as supostas relações entre as variáveis de qualidade de água e os fatores sócio-ambientais, foi aplicado o método de ordenação direta chamada Análise de Redundância (RDA) (RAO, 1973). A RDA é implementada no software "Linear – Polynomial RDACCA", desenvolvido por Makarenkov & Legendre (2002). Este programa permite execução de uma

RDA clássica (RAO, 1973), baseada em regressões lineares múltiplas. Inclui também módulo para RDA polinomial, para conjuntos de dados com distribuição monotônica sem linearidade entre as variáveis das matrizes comparadas. Para que o programa realizasse a análise, os dados de entrada foram formatados apenas por números e dispostos em tabela em formato de texto ASCII. Houve um cabeçalho com informações sobre o número de amostras, quantidade de variáveis dependentes e independentes, seguida pelos seus respectivos valores.

O resultado da RDA realizada é pronunciado em arquivo texto de saída, onde constaram os autovalores das variáveis dependentes e independentes, como também os vetores de ordenação dos pontos de amostragem. Em adição foi apresentada uma série de grandezas estatísticas que permitiu a avaliação da ordenação efetuada. O coeficiente médio de determinação múltipla (R^2) pode assumir valores entre 0 e 1, e pode ser entendido como uma média da correlação geral entre as matrizes dependentes e independentes. A porcentagem da variância explicada indica a porção da variância na matriz das variáveis dependentes que pode ser explicada pela matriz das variáveis independentes. Os resultados das ordenações apresentadas foram validados a partir de testes de permutação (ANDERSON, 2001; TER BRAAK, 2003), testando a hipótese nula, da qual não existiu relação entre as variáveis explanatórias e de resposta

A interpretação dos resultados fornecidos por técnicas de ordenações canônicas (análises diretas) é considerada tarefa complexa (VALENTIN, 2000). A visualização dos autovalores (scores de ordenação das variáveis dependentes da ordenação), dos scores das variáveis explanatórias (independentes) e dos pontos de coleta é comumente efetuada por bi-plots, os quais constituem a projeção gráfica dos pontos variáveis.

O scatterograma do bi-plot foi confeccionado pelos dois primeiros eixos canônicos da ordenação (sem unidade) que representam a maior parte da variação dos valores dependentes explicados. Os scores das variáveis explanatórias representam a correlação entre as variáveis explanatórias e os scores dos pontos amostrados, sendo valores mais altos mais determinantes para a ordenação. De forma geral, a proximidade de um ponto de amostragem ou de uma variável dependente no diagrama de ordenação, indica que o respectivo local/fator possui dependência do respectivo valor independente.

Para que a RDA fosse aplicada, todas as variáveis vistas como sendo fundamentais para o entendimento das influências e relações estabelecidas entre elas e a qualidade da água na bacia foram preparadas anteriormente, passando por diversos procedimentos:

- i. Os parâmetros de qualidade de água foram resultantes dos trabalhos de campo realizados durante os meses de Maio, Julho, Setembro e Novembro do ano de 2006; e nos meses de Março, Agosto e Novembro do ano de 2007. Foram adotados oito parâmetros: Nitrogênio Amônia, Nitrato, Nitrito, NTK, Coliformes Totais, OD, Fósforo e DBO, e determinada a mediana por ponto de coleta.
- ii. Foram adotadas doze variáveis explanatórias: Dados de precipitação acumulada, Geomorfologia, pedologia, declividade, área, impacto do uso do solo, porcentagem de agricultura, porcentagem de algodão, população rural, população urbana, piscicultura e lançamento de efluentes.

As variáveis utilizadas, a sua origem e o seu pré-processamento para compor a RDA são expostas no Quadro 2.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Dados Pluviométricos

Como exposto na metodologia, foi utilizada para todas as sub-bacias a chuva acumulada dos 5 dias anteriores, tendo como referência o dia de análise da água em cada mês, durante o período de estudo (2006-2007), conforme disposto na Tabela 1.

Dados físico-químicos de qualidade da água e sua consolidação para análise estatística

É importante salientar que algumas concentrações de nitrogênio amoniacal foram descartadas na análise estatística. Isso porque, segundo Jordão (2005), o NTK é a soma dos nitrogênios orgânico e amoniacal, ou seja, $NTK = N_{orgânico} + NH_3$ (amônia) + NH_4^{++} . Dessa maneira, as concentrações de NTK não podem apresentar-se iguais ou menores do

que as concentrações de nitrogênio amoniacal. Logo, para estes casos, os valores de Nitrogênio amoniacal foram descartados.

Quadro 2

Procedimentos metodológicos realizados para preparação das variáveis explanatórias utilizadas na ordenação

Variáveis explanatórias	Fonte	Procedimentos de elaboração
Precipitação Acumulada	TRMM	1º Foram considerados os dados de precipitação de cinco dias anteriores à realização da análise de água. Esse período foi determinado através do cálculo do tempo de concentração em cada sub-bacia analisada. 2º Foi obtida a chuva acumulada para cada ponto de análise, tendo como referência o dia de análise da água em cada mês, durante o período de estudo (2006-2007).
Geomorfologia	(SEPLAN, 2008)	1º Foram atribuídas notas para cada classe de Geomorfologia, de acordo com o índice de dissecação do relevo e susceptibilidade à erosão, criando-se 2 classes. 2º Criou-se um índice que determinasse a classe de geomorfologia [=soma(classe1*1+classe2*2)]. (classe 1 menos susceptível à erosão, por isso, multiplicado por 1; classe 2, maior susceptibilidade à erosão, por isso multiplicado por 2).
Pedologia	(SEPLAN, 2008)	1º Foram criadas 5 classes: 1-Muito fraca; 2- Fraca; 3-Média; 4- Forte e 5- Muito Forte, de acordo com a erodibilidade do solo (ROSS, 2005). 2º Criou-se um índice que determinasse a classe de Pedologia [=soma(classe1*1+classe2*2+classe3*3+classe4*4+classe5*5)]. (quanto mais susceptível à erosão a classe é multiplicada por um valor maior).
Declividade	INPE	Foram criadas três classes de acordo com a porcentagem de inclinação (SALOMÃO, 1999). A classificação foi: 1 – Fraco (0 - 6,0 %), 2 – Forte (6,0 – 16%) e 3 – Muito Forte (>16%).
Área	INPE	Calculou-se a área para cada sub-bacia através da delimitação feita pelo MNT.
Impacto do Uso	WWF	O impacto do uso foi determinado em 5 classes, considerando a intensidade da ação antrópica no manejo da terra, em cada sub-bacia (SALOMÃO, 1999). Classificados em: 1- Muito Fraco (vegetação natural e água), 2- Fraco (Reflorestamento, Alteração/Manejo), 3 – Médio (Pastagem), 4- Forte (Degradação por mineração, alteração antrópica, Influência Urbana), 5- Muito Forte (agricultura, Algodão).

Algumas concentrações de nitrato (NO₃-) e nitrito (NO₂-) também foram desconsideradas na análise estatística. Isso porque, segundo Metcalf e Eddy (2003), nitrito não ocorre nas águas em concentrações significativas devido à instabilidade na presença do oxigênio (oxidam para nitrato), e raramente excedem 0,1 mg/l nas águas superficiais. Já as concentrações de nitrato são bastante variáveis nas águas residuárias (entre 0 a 20 mg/l), mas em rios, as concentrações geralmente são baixas. Dessa forma, as concentrações de nitrato, geralmente, apresentam-se maiores que as concentrações de nitrito. Com isso, as concentrações de nitrito que se apresentaram maiores que as concentrações de nitrato ou que excederam em demasia a 0,1 mg/l, foram desconsideradas.

O valor de uma observação é apenas parcialmente conhecido, ou seja, encontra-se abaixo ou acima do limite de detecção (LD) da técnica analítica de medição. Em tais casos, geralmente

indicam a ausência da substância quando ela existe, mas está abaixo do limite de detecção do instrumento de medida, produzindo valores iguais a zero, não necessariamente verdadeiros.

Tabela 1

Chuva acumulada durante os períodos de coleta de qualidade de água para cada sub-bacia

Sub-bacia	03/05-08/05/06	08/06-13/06/06	08/09-13/09/06	11/11-16/11/06	16/03-21/03/07	04/08-09/08/07	22/11-27/11/07
cba 134	0,0	0,0	2,2	0,0	25,8	0,0	20,2
cba 224	0,0	0,0	2,2	0,0	26,5	0,0	18,4
cba 269	0,0	0,0	2,1	0,0	25,2	0,0	18,7
cba 342	0,0	0,0	2,2	0,0	25,6	0,0	18,6
cba 406	0,0	0,0	2,1	0,0	25,2	0,0	18,7
cba 408	0,0	0,0	2,1	0,0	25,1	0,0	18,8
cba 415	0,0	0,0	2,1	0,0	24,7	0,0	18,4
cba 417	0,0	0,0	2,2	0,0	24,5	0,0	18,4
cba 437	0,0	0,0	2,2	0,0	24,5	0,0	18,4
cba 464	0,0	0,0	2,5	0,0	20,2	0,0	11,5
cba 561	0,0	0,0	2,5	0,2	21,1	0,0	16,0
cba 671	0,0	0,0	0,0	2,2	26,5	0,0	18,4
slo 129	0,0	0,0	0,2	3,7	16,9	0,0	8,0
slo 245	0,0	0,0	3,2	0,1	14,1	0,0	5,5
slo 253	0,0	0,0	2,4	0,0	22,5	0,0	17,9
slo 340	0,0	0,0	0,6	0,1	14,2	0,0	5,9

De acordo com a Resolução do CONAMA N° 357, de 17 de março de 2005, os cursos d'água da bacia do rio Cuiabá em geral, estão enquadrados na classe 2, cuja característica principal é a possibilidade de utilização para o consumo humano, após tratamento convencional. Com relação a variação da concentração de OD, em todas as sub-bacias monitoradas os valores estão dentro dos padrões estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/2005. Já as concentrações de fósforo total estão acima do limite permitido pela Resolução na maioria dos pontos monitorados. No que se refere ao nitrogênio amoniacal, não se verificou, nas sub-bacias monitoradas, níveis acima do limite permitido, mas a sua concentração aumenta nas proximidades dos centros urbanos.

Logo, os dados analíticos avaliados que se enquadram nos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA N° 357 são: OD e Nitrogênio Amoniacal; porém extrapolam os limites no caso da variável Fósforo. Os valores de cada variável e coleta podem ser obtidos em (ARAÚJO, 2011).

Relação entre as características socioambientais e a qualidade da água

Pré-análise e seleção das variáveis

Uma análise prévia das variáveis dependentes e independentes deve anteceder a aplicação de técnicas de ordenação direta. Pelo tamanho da amostragem (17 estações, 7 coletas), a utilização de todas as variáveis independentes disponíveis (apesar de cada uma ter relação hipotética com as variáveis dependentes) tende a causar superajuste / super-especialização (*overfitting*) em métodos baseados em técnicas regressivas. Além disso, deve-se assumir a possibilidade de existir colineariedade entre algumas variáveis independentes, ou seja, elas estão fortemente correlacionadas entre si de modo que não conseguem isolar o efeito de cada.

Apesar da RDA não ser utilizada nesse estudo como método preditivo e por possuir robustez contra colineariedade, um número excessivo de variáveis independentes deve ser evitado (Leps & Smilauer, 2003).

Para reduzir o número de variáveis independentes na ordenação RDA, foi determinada, portanto, uma matriz do coeficiente de correlação de Spearnan, método não-paramétrico indicado para análise de dados sem distribuição normal. O coeficiente ρ de Spearman varia entre -1 e 1. Quanto mais próximo estiver destes extremos, maior será a associação entre as variáveis. O sinal negativo da correlação significa que as variáveis variam em sentido contrário, isto é, as categorias mais elevadas de uma variável estão associadas a categorias mais baixas da outra variável.

Logo, a extração da matriz de correlação (Tabela 2) possibilitou a escolha das variáveis independentes mais significativas, as quais têm um papel destacado na interpretação da proposta de estudo. Após identificação dos pares de variáveis altamente correlacionados ($\rho > \pm 0.8$), foi escolhida a variável com maior poder preditivo em regressões simples com as variáveis dependentes.

Variáveis dependentes com distribuições que diferem fortemente de uma normal (skewed) podem gerar coeficientes canônicos instáveis e de interpretabilidade duvidosa. Diante disso, para a realização da análise estatística (RDA), foram utilizadas as medianas para cada parâmetro, apresentadas na Tabela 3. São dezesseis pontos de monitoramento das sub-bacias; seis parâmetros de qualidade de água e nove variáveis independentes que constituem fator condicionante na análise, no caso, formadas pelas características físicas e ambientais das sub-bacias.

É importante salientar que as variáveis referentes à População rural (Pop_Rural/km²) e à geomorfologia foram omitidas nas análises estatísticas, pois as análises preparatórias de regressão simples mostraram baixo poder preditivo para as variáveis de qualidade de água.

Já os valores das medianas, correspondentes ao parâmetro DBO, apresentaram-se iguais para todos os pontos de análise. Desta maneira, foram desconsideradas para a análise de redundância. O mesmo fato ocorreu com a variável Nitrito.

Ordenação

Depois o pré-processamento das variáveis dependentes (variáveis de qualidade de água) e independentes (características sócio-ambientais das áreas de contribuição) foi aplicado a RDA a partir do programa RdaCca (Makarenkov & Legendre 2002). A resposta da análise de redundância constou de autovalores das variáveis dependentes e independentes, como também dos vetores de ordenação dos pontos de amostragem, conforme Tabela 4. A localização dos autovalores normalizados das variáveis de qualidade de água é determinada pelos fatores ambientais supostamente determinantes. Os scores das variáveis explanatórias representam a correlação entre as variáveis explanatórias e os scores dos pontos amostrados, sendo que os valores mais altos são os mais determinantes para a ordenação. De forma geral, a proximidade de um ponto de amostragem ou de uma variável dependente no diagrama de ordenação, indica que o respectivo local/fator possui dependência do respectivo valor independente.

Em outros casos, detectam a presença da substância, mas são incapazes de quantificá-la quanto ao valor da concentração. São valores de concentrações inferiores ou superiores aos limites considerados confiáveis o suficiente para serem relatados como valores numéricos observados. Os valores abaixo de um limite inferior são chamados de dados censurados a esquerda e maiores que um limite superior, dados censurados a direita. Conforme Helsel e Hirsch (2002), a presença de dados censurados complica a análise estatística, especialmente quando o número de observações é pequeno e/ou o percentual de valores censurados é alto. Devido a isso, foram omitidos, nas análises deste estudo, as variáveis nitrito (NO²⁻) e DBO. O detalhamento desse processo pode ser verificado em (ARAÚJO, 2011).

Cada variável tem definidas as suas coordenadas, ou seja, valores de X e Y, dos primeiros dois eixos da ordenação para representação gráfica, que torna mais clara a relação entre as variáveis independentes, dependentes e dos scores das sub-bacias monitoradas. A sua interpretação deve iniciar-se principalmente com a observação dos pontos-variáveis e pontos-observação no primeiro plano, formado pelos eixos X e Y, no primeiro e segundo quadrante, onde geralmente se explica a maior parte da variabilidade dos dados e as grandes linhas da sua estrutura. Os outros planos sucessivos identificam fatores de menor importância, mas que têm a possibilidade de serem colocados em evidência por este tipo de análise.

Tabela 2

Matriz de correlação.*Variáveis mantidas para a ordenação

	Geomorfologia	*Pedologia	Vegetação e Uso	*Impacto do Uso	Índice/Decliv	*Área(Km ²)	Decliv. Média	*% Agricultura	% Algodão	Pop_urb	Pop_rural	*Chuva_Acc	Psicultura	Efluentes	*Pop_urb/Km ²	Pop_rural/Km ²	*Psicultura/Km ²	*Efluentes/Km ²
Geomorfologia	1,000	,261	-,602	-,530	-,556	,601	-,784	-,731	-,710	,535	,601	-,090	,578	,476	,297	,494	,506	,338
*Pedologia	,261	1,000	-,705	-,779	,174	-,247	-,019	-,185	-,244	-,406	-,247	-,663	-,324	-,533	-,500	-,253	-,406	-,638
Vegetação e Uso	-,602	-,705	1,000	,901	,128	-,146	,384	,319	,278	-,005	-,146	,548	-,107	,079	,274	,043	,037	,328
*Impacto do Uso	-,530	-,779	,901	1,000	,041	-,050	,305	,247	,188	,108	-,050	,550	,012	,202	,415	,188	,188	,456
Índice/Decliv	-,556	,174	,128	,041	1,000	-,832	,811	,562	,529	-,787	-,832	-,267	-,810	-,724	-,747	-,665	-,753	-,709
*Área(Km ²)	,601	-,247	-,146	-,050	-,832	1,000	-,937	-,291	-,279	,956	1,000	,132	,990	,939	,700	,879	,932	,800
*Decliv. Média	-,784	-,019	,384	,305	,811	-,937	1,000	,433	,437	-,848	-,937	,003	-,907	-,810	-,589	-,805	-,837	-,661
*% Agricultura	-,731	-,185	,319	,247	,562	-,291	,433	1,000	,968	-,294	-,291	-,093	-,280	-,202	-,415	-,241	-,268	-,274
% Algodão	-,710	-,244	,278	,188	,529	-,279	,437	,968	1,000	-,258	-,279	-,100	-,256	-,178	-,424	-,300	-,274	-,297
Pop_urb	,535	-,406	-,005	,108	-,787	,956	-,848	-,294	-,258	1,000	,956	,151	,976	,970	,793	,878	,952	,846
Pop_rural	,601	-,247	-,146	-,050	-,832	1,000	-,937	-,291	-,279	,956	1,000	,132	,990	,939	,700	,879	,932	,800
*Chuva_Acc	-,090	-,663	,548	,550	-,267	,132	,003	-,093	-,100	,151	,132	1,000	,132	,267	,315	-,002	,157	,462
Psicultura	,578	-,324	-,107	,012	-,810	,990	-,907	-,280	-,256	,976	,990	,132	1,000	,964	,719	,892	,963	,825
Efluentes	,476	-,533	,079	,202	-,724	,939	-,810	-,202	-,178	,970	,939	,267	,964	1,000	,777	,871	,955	,909
*Pop_urb/Km ²	,297	-,500	,274	,415	-,747	,700	-,589	-,415	-,424	,793	,700	,315	,719	,777	1,000	,726	,785	,900
Pop_rural/Km ²	,494	-,253	,043	,188	-,665	,879	-,805	-,241	-,300	,878	,879	-,002	,892	,871	,726	1,000	,941	,821
*Psicultura/Km ²	,506	-,406	,037	,188	-,753	,932	-,837	-,268	-,274	,952	,932	,157	,963	,955	,785	,941	1,000	,885
*Efluentes/Km ²	,338	-,638	,328	,456	-,709	,800	-,661	-,274	-,297	,846	,800	,462	,825	,909	,900	,821	,885	1,000

Tabela 3
Dados de entrada para ordenação direta RDA

Pontos	Nit. Amon.	Fósforo	NTK	Nitrato	CT(ln)	OD	Pedologia	Impacto Uso	Área(Km ²) ln	Declividade Média	Agricultura	Chuva Acc M	Pop_urb/ Km ²	Psicultura /Km ²	Efluente s/Km ²
cba 134	0,09	0,05	0,59	0,53	9,07	6,80	4,07	1,43	7,75	9,21	0,59	6,89	0,00	0,00	1,30
cba 224	0,07	0,05	0,48	0,42	8,83	7,60	3,89	1,90	9,66	9,02	4,23	6,72	3,66	0,45	2,30
cba 269	0,11	0,05	0,51	0,31	8,61	7,50	3,86	1,89	9,69	9,00	4,11	6,56	4,04	0,43	2,54
cba 342	0,07	0,05	0,55	0,49	9,19	7,60	3,67	1,93	9,90	8,79	3,34	6,63	3,59	0,50	2,85
cba 406	0,05	0,05	0,55	0,59	9,07	6,70	3,58	1,96	10,03	8,75	2,95	6,57	3,16	1,24	3,71
cba 408	0,06	0,05	0,64	0,58	9,12	7,60	3,53	1,97	10,07	8,65	2,84	6,58	13,32	1,45	12,08
cba 415	0,09	0,05	0,68	0,70	10,09	7,40	3,52	1,97	10,10	8,75	2,76	6,46	23,70	1,49	16,93
cba 417	0,09	0,05	0,54	0,57	9,86	6,90	3,52	1,97	10,10	8,63	2,76	6,44	26,04	1,49	17,82
cba 437	0,14	0,05	0,95	0,75	10,09	7,10	3,46	1,98	10,12	8,63	2,68	6,44	31,10	1,85	22,81
cba 464	0,10	0,05	0,39	0,53	9,32	6,40	3,44	1,98	10,14	8,56	2,65	4,88	32,86	1,90	22,63
cba 561	0,05	0,10	0,90	0,84	9,07	6,40	3,31	1,98	10,27	8,48	2,54	5,68	28,68	1,94	23,77
cba 671	0,09	0,10	0,84	0,61	8,28	6,30	3,25	1,86	10,52	7,91	2,70	6,73	22,26	1,53	18,94
slo 129	0,05	0,09	0,55	0,15	8,93	8,20	3,15	2,81	8,32	10,60	23,10	4,11	12,22	0,49	13,95
slo 245	0,11	0,11	1,09	0,71	9,40	7,20	3,03	2,72	10,01	10,57	17,48	3,26	11,07	0,63	12,84
slo 253	0,06	0,07	1,03	0,58	9,22	6,40	2,83	2,49	9,42	12,03	7,90	6,12	12,39	0,65	10,25
slo 340	0,07	0,17	1,14	0,42	9,32	7,30	3,44	2,15	8,21	13,59	0,73	2,98	14,44	0,27	4,61

Tabela 4
Valores resultantes da RDA linear

Resultado da análise de redundância para a ordenação			
Pontos e setas representados no gráfico		Valores do 1. eixo (X)	Valores do 2. eixo (Y)
Variáveis de qualidade de água (autovalores normalizados)	Nitrogênio Amoniacal	0,05830	-0,05520
	Fósforo	0,15480	0,21720
	NTK	1,23270	0,57070
	Nitrato	0,87860	-0,66660
	Coliformes Totais	0,12910	-0,11100
	Oxigênio Dissolvido	-0,36920	0,36270
Sub-bacias analisadas (combinações polinomiais das variáveis independentes)	cba 134	-0,35058	-0,54110
	cba 224	-1,17058	0,29642
	cba 269	-1,02806	0,19517
	cba 342	-0,82932	-0,03014
	cba 406	-0,39456	-0,75334
	cba 408	0,06513	-0,51475
	cba 415	-0,07578	-0,57659
	cba 417	-0,36433	-0,68506
	cba 437	1,16872	-0,56257
	cba 464	-0,80592	-1,58811
	cba 561	1,38243	-0,66436
	cba 671	0,65713	-0,01565
	slo 129	-1,71710	2,02406
	slo 245	1,46635	0,59509
slo 253	1,08142	0,62428	
slo 340	0,91506	2,19664	
Variáveis Explanatórias (correlações múltiplas entre as variáveis de qualidade de água e os escores das sub-bacias)	Pedologia	-0,52169	-0,37531
	Impacto_Uso	0,26154	0,62728
	Área	0,34028	-0,69257
	Decliv_Média	0,39478	0,79960
	Chuva_Acc	-0,27060	-0,69135
	Pop_Urb/Km ²	0,47450	-0,72122
	Psiculturas/km ²	0,31262	-0,67834
	Efluentes/km ²	0,39429	-0,56061

A Figura 3 expõe os primeiros dois eixos da Análise de Redundância Linear, obtidos para a ordenação de seis variáveis dependentes (qualidade de água) e nove fatores explanatórios. O modelo explica aproximadamente 84% da variância na matriz dependente e possui nível de significância P(Lin) de 0,006, com 2000 permutações.

De forma geral, no bi-plot resultante da ordenação direta, os gradientes das variáveis de qualidade de água e das estações amostrais são ordenados por eixos ambientais (características das sub-bacias de contribuição). O comprimento das setas (Figura 3) é proporcional à sua importância e o ângulo entre uma determinada seta e cada eixo de ordenação representa o seu grau de correlação com o eixo. A menor distância entre as setas (que representam as características ambientais), e os pontos na cor rosa (que

representam os parâmetros de qualidade de água), indica a influência das características ambientais sobre os parâmetros de qualidade da água.

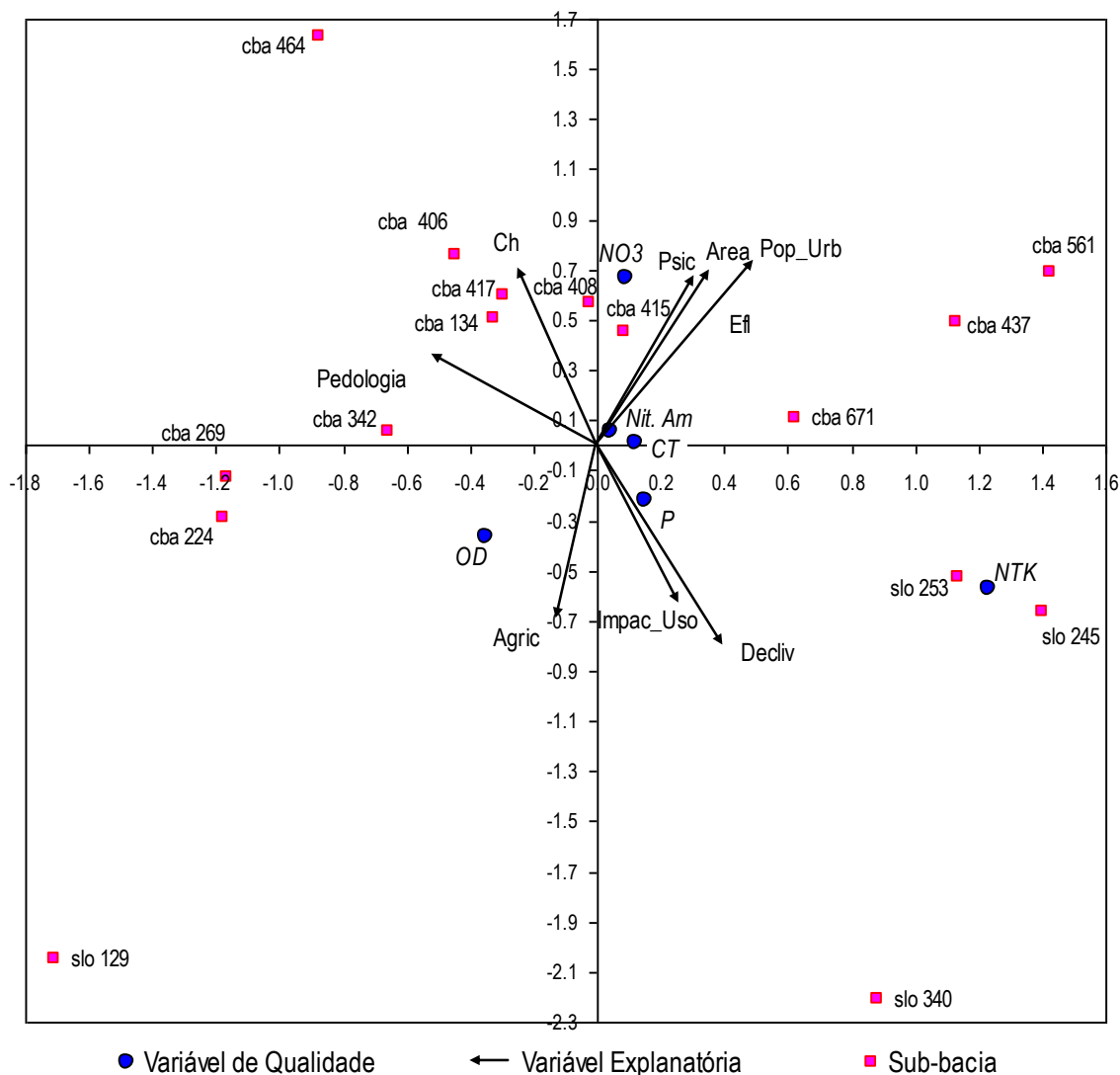


Figura 3: Diagrama de ordenação direta (RDA) dos parâmetros físico-químicos de qualidade de água, das sub-bacias hidrográficas e suas respectivas características físicas, socioeconômicas e de uso e ocupação do solo.

Os valores positivos do primeiro eixo da ordenação (quadrantes superior e inferior direitos) são relacionados predominantemente, com os fatores Declividade média (Decliv_Média), a área de contribuição (Área), e a população urbana (Pop_Urb); valores negativos (quadrantes superior e inferior esquerdos) relacionam-se com o fator “Pedologia”. Na codificação destes quatro fatores, ordens mais altas foram atribuídas a características ambientais que proporcionam, supostamente, maiores impactos negativos sobre a qualidade da água. O fato da variável “Pedologia” apontar em direção oposta dos demais fatores citados, se explica pelo seguinte: solos mais susceptíveis a processos erosivos e transporte de nutrientes/poluentes são menos utilizados para o cultivo intensivo.

A característica composta do Impacto do uso (Impac_uso) é representada pelo menor vetor, indicando a complexidade das interações entre o conjunto de fatores sócio-ambientais (usos predominantes nos municípios etc.) e ambientais (uso de solo) e a qualidade de água. As dez

classes de uso e ocupação do solo adotadas neste estudo foram ordenadas seguindo-se o critério de quanto poderiam influenciar de maneira relevante na qualidade da água. Foi feita a quantificação, em porcentagem, do uso e ocupação do solo predominante em cada sub-bacia de contribuição em análise; assim como os índices de impacto referentes a cada sub-bacia, calculados a partir da classificação determinada no quadro 2.

Todas as sub-bacias pontuadas na parte inferior do diagrama estão situadas em áreas de maiores declividades onde atividades agrícolas possuem maior impacto. O parâmetro de qualidade de água que apresenta correlação expressiva com essas sub-bacias é o NTK.

O NO₃ apresenta uma correlação positiva com a População urbana (Pop_Urb) à medida que aquele tem a tendência de apresentar elevadas concentrações em sub-bacias com contribuições de lançamentos provenientes de áreas urbanas (cba 437, cba 561). O contrário acontece com OD, que apresenta baixas concentrações quando a população urbana tende a ser maior, produzindo maiores cargas de poluição orgânica.

Outro agrupamento de áreas com características em comum está visível no diagrama próximo ao eixo Y, na parte inferior, onde estão localizadas as sub-bacias do Slo 245, Slo 253, Slo 129 e Slo 340, as quatro que apresentam elevadas concentrações do NTK, porém ainda com níveis satisfatórios de oxigenação. As mesmas localizam-se em áreas em que o cultivo do algodão é uma das atividades agrícolas predominantes.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Este estudo identificou que estas alterações na qualidade das águas estão relacionadas com mudanças no uso do solo na bacia, principalmente atividade agrícola e ocupação urbana. De acordo com análise estatística multivariada realizada (RDA), considerando-se as características específicas de cada sub-bacia estudada, pode-se inferir que as variáveis explanatórias, ou seja, as características que mais influenciaram na qualidade da água foram: pedologia, densidade da população urbana, declividade, área da sub-bacia (como indicador da vazão) e chuva antecedente às coletas.

As relações complexas entre as atividades humanas e a qualidade de água detectada, evidenciam que o gerenciamento dos componentes terrestres e aquáticos não pode ser tratado separadamente, e que a unidade espacial mais apropriada para uma gestão conjuntiva é a da bacia hidrográfica. A política de recursos hídricos isoladamente não trará soluções às questões de degradação, mas a combinação de política, educação, planejamento e aplicabilidade das leis pode prover mecanismos para reduzir a degradação dos ecossistemas terrestres (desmatamento etc.), possibilitando proteção humana e ambiental.

A utilização de técnicas de geoprocessamento permitiu a realização de análises complexas, integrando dados de diversas fontes em um banco de dados georreferenciados. Assim, os planos de informações puderam ser sobrepostos, facilitando a delimitação, cálculos e a definição das características físicas e ambientais das áreas de interesse, no caso, a bacia do rio Cuiabá e as sub-bacias analisadas. A utilidade destas técnicas foi ainda mais evidente por se tratar de uma área de estudo de grande extensão, com características diversas a serem consideradas.

A grande variabilidade das variáveis de qualidade de água nos mesmos pontos de coleta ainda indica que o monitoramento deva ser realizado com resolução temporal maior e de forma constante, contemplando ainda paridade das coletas entre as estações seca e chuvosa.

REFERÊNCIAS

- ANDERSON, M. J. **Permutation tests for univariate or multivariate analysis of variance and regression**. Canadian journal of fisheries and aquatic science. 2001. 58(3), p. 629-636.
- ARAÚJO, Gabriella Costa. **Padrões Espaciais da Qualidade da Água na Bacia do Rio Cuiabá e Rio São Lourenço – Mato Grosso**. 2011. 94f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos) — Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá – MT, 2011.
- DIAS, R., “**Tietê: Um Rio Começa a Renascer**”, BIO – Revista Brasileira de Saneamento e Meio Ambiente, n. 18, pp. 44-48, 2001.
- DIXON, W.; CHISWELL, B. **Review of aquatic monitoring program design**. Water Research, 30(9), p. 1935-1948, 1996.

- HELSEL, D. R. e HIRSCH, R. M. **Statistical Methods in Water Resources**. Elsevier, 2002.
- LEPS, J., Smilauer P. **Multivariate Analysis of Ecological Data using CANOCO**. Cambridge University Press, 2003.
- MAKARENKOV, V. & LEGENDRE, P. **Nonlinear redundancy analysis and canonical correspondence analysis based on polynomial regression**. Ecology, 2002. 83(4), p. 1146–1161.
- RAO, C. R. **Linear statistical inference and its applications**. Second edition. Wiley. New York, USA, 1973.
- METCALF & EDDY. Wastewater engineering treatment, disposal in reuse. Metcaf, & Eddy, Inc. 3ed. 1334p, 1991.
- TER BRAAK, C. J. F. **Canonical correspondence analysis: a new eigenvector technique for multivariate direct gradient analysis**. Ecology, 67(5), p. 1167-1179, 1986.
- TEIXEIRA, A.L.A., MORETTI, E. E CHRISTOFOLETTI, A. **Introdução aos Sistemas de Informação Geográfica**. Rio Claro: Edição do Autor, 1997.
- TUCCI, C. E. M., HESPANHOL, I., CORDEIRO NETTO, O. M. **“Cenários da Gestão da Água no Brasil: Uma Contribuição para a Visão Mundial da Água”**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 5, n. 3, pp. 31-43, 2000.
- VALENTIN, J. L. **Ecologia numérica**: Uma introdução à análise multivariada de dados ecológicos. Rio de Janeiro: Interciência, 2000. 117p.
- ZEILHOFER, P.; LIMA, E. R.; LIMA, G. A. R. **Spatial patterns of water quality in the Cuiabá river basin**, Central Brasil. Environmental Monitoring and Assessment, 123 (1-3), p. 41-62, 2006.