

Aplicação da análise fatorial e do Sig à integração e apresentação dos resultados do estudo da qualidade de água e sedimentos fluviais na região do Baixo Jacuí, RS

Daniela Montanari Migliavacca

Lúcia Schild Ortiz

Felipe Deppe Alves

Henrique Hasenack

Elba Calessio Teixeira

RESUMO

Técnicas de análise fatorial e geoprocessamento foram utilizadas como ferramentas complementares para integração, síntese e apresentação visual dos resultados dos estudos de qualidade da água e sedimentos fluviais na região do Baixo Jacuí, RS. A coleta de amostras de água e sedimento foi realizada ao longo de 18 meses, em 15 pontos localizados no rio Jacuí e nos seus principais contribuintes, com ênfase na subbacia hidrográfica do arroio do Conde, onde é intensificada a contribuição associada à mineração, ao beneficiamento e à disposição de resíduos do carvão. A confecção de um índice de qualidade da água para a região de estudo possibilitou a detecção dos trechos críticos em relação à concentração dos parâmetros analisados, especialmente elementos traço, no arroio do Conde. No Rio Jacuí, não foi observada variação espacial da qualidade da água, provavelmente em função de sua alta capacidade de diluição. Por outro lado, a aplicação da técnica de análise fatorial aos dados de qualidade dos sedimentos revelou maior sensibilidade deste compartimento na avaliação da influência antropogênica, indicando a acumulação dos poluentes lançados por fontes industriais e relacionadas às atividades do processamento do carvão. Os resultados foram sintetizados e melhor visualizados através da combinação das técnicas de geoprocessamento para a apresentação das conclusões deste estudo, de modo a facilitar sua comunicação para o público em geral.

Palavra-chave: Águas Superficiais, Sedimentos, Elementos Traço, SIG, Análise Fatorial

SUMMARY

Factor analysis and geoprocessing techniques were complementary tools for integration and visual presentation of results from water quality and fluvial sediment studies in Baixo Jacuí region, Rio Grande do Sul State, Brazil. Samples were taken along 18 months in 15 sites along the Jacuí river and main tributaries, especially Conde creek, where there is important anthropogenic contribution associated to coal exploitation, processing and waste disposal. The proposed water quality index to the region has facilitated the detection of critical fluvial segments, particularly related to trace elements concentration in Conde creek. In Jacuí river it was not observed a water quality variation, probably in response to a high dilution capacity. On the other hand, the application of factorial analysis techniques to sediment data suggested its great sensitivity to assess the main sources of pollution to the water resources in the study region and pointed out the accumulation of pollutants in the sediments, from industrial and coal processing related sources. This results could be integrated by geoprocessing techniques to facilitate public presentation.

Keywords: Surface Water, Sediment, Trace Elements, GIS, Factor Analysis

INTRODUÇÃO

As ferramentas de geoprocessamento têm sido amplamente aplicadas a estudos ambientais, especialmente no que se refere ao planejamento da ocupação e utilização do solo (WEBER & HASENACK, 1998). O Sistema Informação Geográfica (SIG) apresenta aplicabilidade em diversas áreas, em resposta à possibilidade de confecção de bancos de dados e sua integração, de modo a facilitar a visualização dos resultados de diagnósticos ambientais. Assim, o SIG pode ser extremamente útil como ferramenta de síntese para a apresentação dos estudos de qualidade dos recursos hídricos.

A forma de apresentação dos dados gerados permite uma visualização das alterações mais significativas na qualidade dos cursos d'água, identificando imediatamente áreas prioritárias às ações mitigadoras dos impactos ambientais constatados. Conforme RODRIGUEZ *et al.* (1998), este procedimento apresenta como principal vantagem a facilidade de intercâmbio de informações entre a comunidade técnico-científica e a população em geral e seus administradores, uma vez que os mapas gerados podem sintetizar uma carga de informações mais facilmente assimilada.

Do mesmo modo, os dados de qualidade de água, geralmente integrantes de extensos inventários de parâmetros descritores, como pH, oxigênio dissolvido, concentração de substâncias tóxicas, etc., podem ser sintetizados na forma de índices.

A técnica da análise fatorial para a elaboração de índices de qualidade de águas e/ou sedimentos tem sido apresentada como ferramenta útil na síntese dos resultados da avaliação da qualidade dos recursos hídricos, inclusive com aplicação nos estudos desenvolvidos na bacia hidrográfica do Guaíba, RS (e.g. RODRIGUES, 1997; ANDREAZZA, 1997; VECCHIO *et al.*, 1996; HAASE & POSSOLI, 1993). Esta técnica permite a substituição de um grande número de variáveis por um conjunto menor, de estrutura simplificada, o qual é capaz de explicar a maior parte da variação dos dados originais, através da estrutura da correlação do conjunto inicial. Deste modo, possibilita a redução do número de variáveis e uma forma simplificada de apresentação dos resultados (RODRIGUES, 1997).

Na região do Baixo Jacuí, RS, são desenvolvidas atividades do processamento de carvão, relacionadas à exploração, beneficiamento e combustão do carvão para geração de energia elétrica, as quais apresentam grande potencial de degradação ambiental, especialmente no que se refere aos recursos hídricos. Neste estudo, a análise fatorial e o SIG foram aplicados como ferramentas para síntese e apresentação dos resultados históricos de qualidade da água e sedimentos fluviais nesta região, para a criação de um produto final de apresentação pública e consulta dos dados obtidos através do projeto PADCT-GTM Baixo Jacuí (TEIXEIRA, 1998).

ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo, com aproximadamente 4.950 km², compreendida entre as coordenadas UTM (Universal Transversa de Mercator) 6.655.000 a 6.700.000 metros Norte e 360.000 a 470.000 metros Leste, está situada na região do Baixo Jacuí, inserida na região geomorfológica da Depressão Central Gaúcha, unidade da Depressão do rio Jacuí.

Esta região apresenta clima subtropical úmido. A precipitação é bem distribuída durante o ano, com totais superiores a 1.200 mm, e médias mensais superiores a 130 mm nos meses de abril a outubro (ANDREAZZA, 1997).

Nesta área estão localizadas importantes jazidas carboníferas do RS, áreas de mineração de carvão a céu aberto e subterrâneas, termelétricas e uma siderúrgica em operação. Encon-

tram-se ainda áreas de deposição final de rejeitos de carvão e cinzas, muitas vezes dispostos de forma inadequada e em quantidade significativa, os quais representam, juntamente com os efluentes industriais, fontes potenciais de poluição para os cursos d'água.

O rio Jacuí possui uma extensão de 660 km, com nascentes a cerca de 730 m de altitude, na região do Planalto Médio. Seu curso superior apresenta declividade acentuada e regime torrencial, até alcançar a Depressão Central Gaúcha, de onde estende-se por cerca de 400 km até atingir sua foz no lago Guaíba. Nesta porção, denominada Baixo Jacuí, seus principais afluentes são o rio Taquari, na margem esquerda, que drena rochas vulcânicas (de composição predominante basáltica) e sedimentares do Triássico, e contribuintes de menor porte na margem direita, como os arroios do Conde e dos Ratos, que drenam rochas sedimentares de idade permiana e triássica da Bacia do Paraná. A vazão média do rio Jacuí é de $885 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, chegando a atingir $5688 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (BAISCH, 1994).

Na subbacia do arroio do Conde, que possui uma área de 364 km^2 , insere-se a jazida Leão-Butiá, com reservas carboníferas estimadas em 1,6 bilhões de toneladas. Os principais municípios da bacia são São Jerônimo, Butiá e Minas do Leão, onde se desenvolvem as mais importantes atividades econômicas relacionadas à exploração e beneficiamento de carvão mineral na região de estudo.

METODOLOGIA

A metodologia empregada neste estudo seguiu as etapas apresentadas no fluxograma da Figura 1.

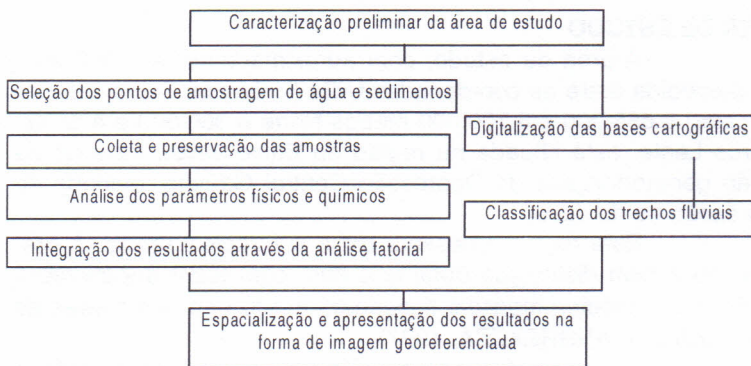


Figura 1: Fluxograma mostrando as etapas do estudo da qualidade das águas e sedimentos fluviais e sua integração através da análise fatorial e do SIG

A coleta de amostras de água e sedimentos fluviais foi realizada em 15 pontos inseridos na área de estudo, localizados no rio Jacuí e nos seus principais contribuintes na região de estudo, com ênfase na subbacia hidrográfica do arroio do Conde, onde é intensificada a contribuição antropogênica associada as atividades do processamento de carvão (Figura 2). A Tabela 1 descreve a localização dos pontos de coleta e a justificativa para sua inclusão no estudo.

Tabela 1 - Descrição dos pontos de amostragem de água superficial e sedimentos fluviais na região do Baixo Jacuí, RS

Pontos	Localização	Justificativa
Ponto 1	rio Jacuí	ponto de referência
Ponto 2	arroio Taquara	captação de água da CORSAN
Ponto 3	arroio do Conde	captação do lavador da CRM
Ponto 4	arroio Capão da Roça	jusante do lavador da CRM
Ponto 5	arroio do Conde	confluência com o arroio Martins
Ponto 6	arroio do Conde	Porto do Conde
Ponto 7	rio Jacuí	jusante da UT São Jerônimo
Ponto 8	rio Taquari	próximo a foz do rio Taquari
Ponto 9	rio Jacuí	em frente à UT Charqueadas
Ponto 10	rio Jacuí	jusante da siderúrgica Aços Finos Piratini
Ponto 11	rio Jacuí	próximo a foz do arroio dos Ratos
Ponto 12	rio Jacuí	em frente a futura UT Jacuí I
Ponto 13	rio Jacuí	jusante da futura UT Jacuí I
Ponto 14	rio Jacuí	Porto da Manga
Ponto 15	rio Jacuí	Ilha Nova, foz do rio Jacuí

As coletas de água foram realizadas mensalmente, no período de maio/1994 a novembro/1995 totalizando 18 amostragens. As técnicas de preservação e estocagem seguiram os procedimentos segundo APHA (1992). As amostras para determinação de metais foram a 11 oxigênio dissolvido (OD) e metais (Pb, Cr, Cd, Fe, Ni, Cu, Co, Mn e Zn).

As coletas de sedimentos fluviais, realizadas nos mesmos pontos, foram efetuadas em outubro/1992, abril/1993, agosto/1994, novembro/1994, fevereiro, maio e setembro/1995, compreendendo sete amostragens no total. As amostras foram coletadas com

draga de Petersen, de forma composta, dividindo a seção transversal do curso d'água em seis partes, homogeneizadas, colocadas em sacos plásticos e estocadas em câmara fria (4°C). A preparação das amostras foi realizada através do peneiramento a úmido (peneiras de Teflon™) para a separação das partículas < 63 µm (fração silto-argilosa) (FÖRSTNER AND SALOMONS, 1980), com posterior secagem da fração fina em câmara de luz UV, a aproximadamente 30°C. Após, as amostras foram desagregadas em graal de ágata.

As técnicas para a determinação dos teores de carbono e enxofre total e para a extração total e parcial da fração fina dos sedimentos fluviais (< 63µm), são descritos no trabalho reportado por TEIXEIRA *et al.* (1997). A fração parcial, representativa da fração potencialmente disponível dos metais pesados para a coluna d'água e para os organismos, é também aquela comumente associada a enriquecimentos antropogênicos.

A determinação dos metais (Cd, Co, Cu, Pb, Ni, Mn, Cr, Fe, Zn) para as amostras de águas e sedimentos fluviais foi feita por *Inductively Coupled Plasma – Atomic Emission Spectrometer* ICP-AES 38-S seqüencial Jobin-Yvon, acoplado um nebulizador ultrassônico para baixas concentrações.

Análise fatorial aplicada aos dados de água e sedimentos fluviais

A análise fatorial, aplicada aos dados de qualidade de água e sedimentos fluviais, consiste de uma técnica de análise multivariada que trata das relações internas de um conjunto de variáveis, substituindo um conjunto inicial de variáveis correlacionadas por um conjunto menor de “fatores”, que podem, ou não, ser correlacionados, justificando a maior parte da variância do conjunto original de dados (FACHEL, 1976). Desta forma, é estudada a estrutura de correlação de um conjunto inicial de “p” variáveis (X1, X2 ...Xp), substituindo este por um conjunto menor de variáveis hipotéticas, os fatores comuns, com menor número e com estrutura mais simples.

A análise fatorial, segundo HAIR *et al.*(1998) consiste de três etapas básicas : a preparação da matriz de correlação, a extração dos fatores, e a possível rotação de dados para uma solução final à procura de fatores simples e interpretáveis.

Na etapa de tratamento dos resultados, como forma de sintetizar e facilitar a interpretação das tendências dos dados gerados para os 15 pontos de coleta, optou-se pela aplicação da técnica da análise fatorial, pelo método de componentes principais, através da utilização do software STATISTICA FOR WINDOWS 4.3™.

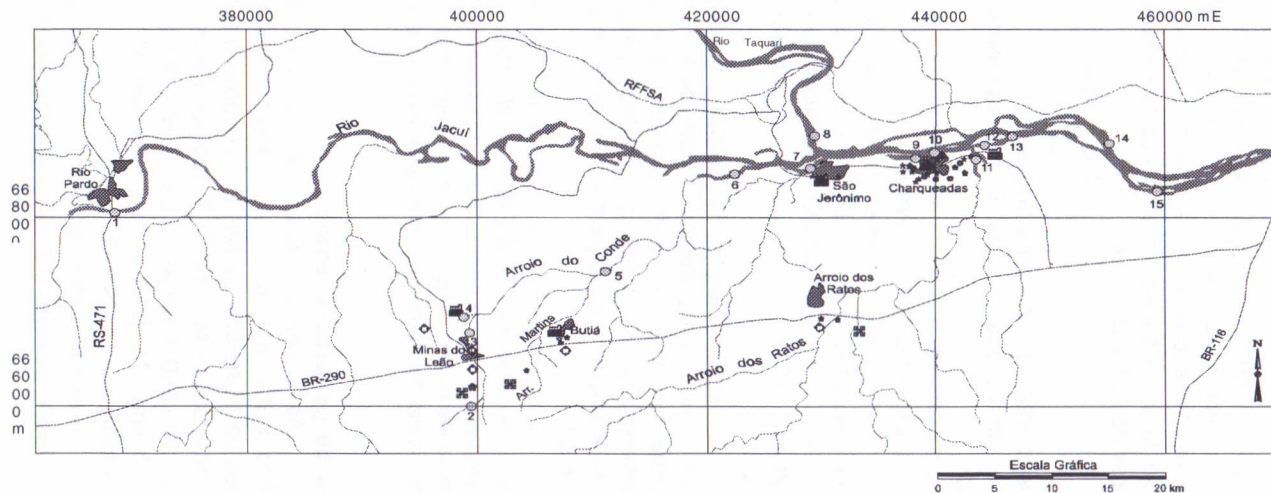
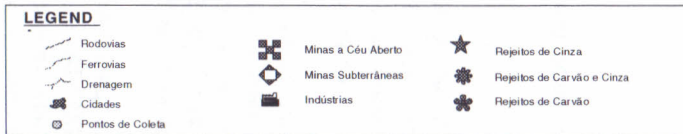


Figura 2: Mapa de Localização dos pontos de amostragem de água e sedimentos fluviais e das principais fontes potencialmente poluidoras na região do Baixo Jacuí, RS

Para o cálculo do Índice de Qualidade da Água (IQA), através da equação 1, foram incluídas todas as variáveis que mostraram uma correlação significativa (>0,5) entre si, que resultaram em valores específicos (com sinal negativo ou positivo) durante o período amostrado. Como resultado, nos pontos amostrados foram observados valores de IQA diferentes.

$$IQA = \frac{\sum W_i X_i - X}{dP} \quad (1)$$

W_i = Coeficientes dos escores fatoriais

X_i = Valor da variável n , medida mensalmente, em cada ponto amostrado.

X = Média da variável n

dP = Desvio padrão para a variável n .

Os parâmetros selecionados para a aplicação do IQA foram: turbidez, condutividade, STD e concentração de metais (Pb, Cr, Cd, Fe, Ni, Cu, Co, Mn e Zn). O IQA elaborado é representativo da média histórica (18 meses) de variação dos parâmetros nos pontos selecionados.

A análise fatorial foi aplicada também aos dados de sedimentos fluviais, compartimento capaz de fornecer mais um indicador da qualidade ambiental para cada ponto amostrado. Neste caso, foram determinados, separadamente, fatores para os dados obtidos através da extração total e parcial da fração fina dos sedimentos fluviais (<63 μ m).

Embora tenham sido determinados outros parâmetros em águas e sedimentos (VECCHIO *et al.*, 1996; TEIXEIRA *et al.*, 1997), estes não foram considerados no presente trabalho devido à insuficiência de dados e/ou ao número significativo de observações abaixo do limite de detecção obtidas através dos métodos de análise.

Técnicas de geoprocessamento

As bases utilizadas para a elaboração do material cartográfico digital foram as cartas topográficas em escala 1:50.000, elaboradas pela Diretoria de Serviço Geográfico (DSG) do Exército - 1ª DL, folhas: Butiá - MI-2986/1, Arroio dos Ratos - MI-2986/2, Serra do Herval - MI-2986/3, Minas do Leão - MI-2985/2, Quitéria MI-2985/4, São Jerônimo - MI-2969/4, Dom Feliciano MI-2998/2, Guaíba MI-2987/1 e Morretes - MI-2970/3.

A estruturação das bases cartográficas digitais foi realizada através do software de digitalização e edição vetorial

AUTOCAD v. 14.0™ e seguiu a agregação das seguintes informações, digitalizadas em planos de informações individuais: i) rede viária; ii) rede hidrográfica; iii) localização das principais fontes potenciais de poluição para as águas superficiais da região de estudo (indústrias, áreas de mineração, depósitos de rejeitos de carvão e cinzas e áreas urbanas); iv) localização dos pontos de amostragem com base nas coordenadas UTM obtidas em campo com auxílio das cartas topográficas e GPS (Global Position System); v) confecção de planos de informações individuais representativos dos segmentos fluviais correspondentes à área de influência de cada ponto de amostragem.

O mapeamento dos depósitos de rejeitos oriundos das atividades do processamento do carvão foi realizado mediante a utilização de fotografias aéreas, nas escalas 1:25.000 (DNPM-CPRM/1977) e 1:8.000 (METROPLAN/1990), e através de reconhecimentos de campo apoiados em informações de antigos processos de mineradoras da região e em mapas cadastrais das prefeituras de São Jerônimo, Charqueadas, Butiá, Minas do Leão e Arroio dos Ratos. A partir de então foi gerada uma série de mapas de detalhe com a localização dos depósitos de rejeitos e cinzas do carvão na região do Baixo Jacuí (BINOTTO, 1997; BINOTTO *et al.*, 1999; TEIXEIRA *et al.*, 1999). As coordenadas UTM foram extraídas do centro da área de cada depósito para a visualização das fontes potenciais como pontos no mapa geral da região do Baixo Jacuí apresentado neste trabalho (Figura 2).

O processamento e análise das informações espaciais, através da integração dos dados geográficos e de qualidade dos recursos hídricos, foram realizados no software de Geoprocessamento IDRISI™ for Windows v.2.0 (Clark University). Os arquivos vetoriais correspondentes aos trechos fluviais estudados foram convertidos para o formato *raster*, em grade com resolução espacial de 20x20 m. As imagens dos segmentos dos cursos d'água de menor porte foram submetidos ao cálculo de faixa tampão, através da rotina BUFFER, que isola uma faixa contínua ao longo da feição com uma largura determinada. Através da rotina ASSIGN, foram atribuídos valores aos segmentos fluviais representativos da área de influência de cada ponto de amostragem, utilizando-se intervalos de valores de acordo com as médias do IQA e dos fatores para os dados de extração parcial do sedimento. Foram então escolhidas arbitrariamente faixas de valores de classificação para a qualidade das águas e sedimentos fluviais da região do Baixo Jacuí (médias entre -1 a 0: bom; 0 a 1: regular; de 1 a 2: ruim; de >2: muito ruim).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Caracterização química da água e dos sedimentos fluviais

A Tabela 2 apresenta os valores médios e desvio padrão dos parâmetros selecionados para aplicação do IQA nos 15 pontos estudados nos cursos d'água da região do Baixo Jacuí durante 18 meses.

Os valores médios de turbidez, condutividade e STD e concentração de metais foram mais elevadas nos arroios em comparação às médias dos rios Jacuí e Taquari. Estes resultados indicaram um maior comprometimento dos cursos d'água de menor porte em resposta à menor capacidade de diluição dos contaminantes e à presença das fontes antropogênicas locais, preferencialmente associadas às atividades de mineração e utilização do carvão.

Tabela 2 - Média e desvio padrão dos parâmetros de qualidade de água estudadas nos rios (Jacuí e Taquari) e arroios (do Conde e dos Ratos)

Parâmetros	Rios		Arroios	
	Média	Desvio padrão	Média	Desvio padrão
Temperatura (°C)	20,9	4,51	20,3	4,80
Pb (mg L ⁻¹)	11,2	7,30	26,8	73,9
Cr (mg L ⁻¹)	6,08	4,05	17,3	47,1
Cd (mg L ⁻¹)	0,63	0,58	2,10	6,02
Fe (mg L ⁻¹)	2,92	1,64	7,32	16,7
Ni (mg L ⁻¹)	8,16	8,06	24,0	37,0
Cu (mg L ⁻¹)	7,05	8,35	15,5	43,0
Co (mg L ⁻¹)	1,83	1,23	9,63	15,1
Mn (mg L ⁻¹)	58,1	30,7	352	459
Zn (mg L ⁻¹)	42,8	55,8	107	222
pH	6,80	0,41	6,40	0,76
Turbidez (UNT)	35,5	31,2	1343	7799
Condut. (mS cm ⁻¹)	28,5	25,4	221	266
STD (mg L ⁻¹)	15,0	11,70	110	132
OD (mg L ⁻¹)	8,41	1,08	8,07	1,30

STD: Sólidos Totais Dissolvidos ; OD: Oxigênio dissolvido; Condut.: Condutividade

Na Tabela 3 são apresentados a média e o desvio padrão dos parâmetros estudadas na extração total para os sedimentos dos rios Jacuí e Taquari e dos arroios do Conde e dos Ratos.

Os dados revelaram médias mais elevadas nos rios Jacuí e Taquari para a maioria dos parâmetros estudadas. Carbono total (C_{total}) e enxofre total (S_{total}) apresentaram, porém, maior concentração nos sedimentos fluviais dos arroios, indicando a influência das atividades de processamento de carvão. De forma geral, verificou-se no ponto 10 (rio Jacuí), logo a jusante da siderúrgica, e nos pontos 5 e 6 (arroyo do Conde), uma tendência à concentração mais elevada para a maioria dos elementos estudados, quando comparados aos pontos 1 e 2, que foram considerados pontos de referência (*background*) por estarem localizados a montante da influência das fontes de contaminação associadas às atividades do processamento do carvão.

Tabela 3 - Média e desvio padrão da concentração de diversos elementos em sedimentos dos rios Jacuí e Taquari e nos arroios do Conde e dos Ratos, empregando o procedimento da extração total.

Parâmetros (mg/g^{-1})	Rios		Arroios	
	Média	Desvio padrão	Média	Desvio padrão
Pb	34,0	10,4	33,53	37,57
Cr	73,1	38,3	21,84	12,35
Cd	0,57	0,33	0,62	2,63
Fe	50084	16437	30034	10503
Ni	30,3	10,7	22,19	11,22
Cu	66,0	28,4	22,18	8,14
Co	42,8	20,2	28,22	15,80
Mn	795	340	498	437
Zn	99,4	23,9	82,48	31,63
Ctotal (%)	2,35	0,58	4,17	0,34
Stotal (%)	0,05	0,03	0,19	4,05

A Tabela 4 mostra a síntese dos resultados da extração parcial dos sedimentos fluviais. Ao contrário dos dados observados através da extração total dos sedimentos fluviais, 60 % das médias na extração parcial foram mais elevadas para os arroios, confirmando a mobilidade (maior concentração na fase potencialmente disponível) elevada das variáveis estudadas nos locais de maior influência de contaminação por carvão.

Tabela 4 - Média e desvio padrão da concentração de diversos elementos em sedimentos dos rios Jacuí e Taquari e nos arroios do Conde e dos Ratos, empregando o procedimento da extração parcial.

Parâmetros (mg g ⁻¹)	Rios		Arroios	
	Média	Desvio padrão	Média	Desvio padrão
Pb	1,77	0,91	4,31	0,45
Cr	0,95	0,45	0,54	3,82
Cd	0,01	0,05	0,17	0,50
Fe	1365	550	1861	822
Ni	2,71	1,03	4,41	8,23
Cu	9,25	3,11	3,57	1,88
Co	9,67	4,51	8,43	8,23
Mn	712	290	379	365
Zn	17,20	4,78	25,36	19,53
Ctotal (%)	2,37	0,62	4,73	4,45
Stotal (%)	0,05	0,02	0,20	0,18

O Mn e o Cr foram os elementos que apresentaram maior e menor mobilidade, respectivamente. Os demais elementos apresentaram de média a fraca mobilidade. Com base na média dos dados de extração parcial dos sedimentos dos arroios do Conde e dos Ratos e dos rios Jacuí e Taquari, realizou-se uma classificação da mobilidade potencial para os elementos estudados que foi a seguinte:

Arroios do Conde e dos Ratos: Mn > Zn > Cd > Ni=Co > Cu > Pb > Fe > Cr

Rios Jacuí e Taquari: Mn > Co > Zn=Cd > Cu > Ni > Pb > Fe > Cr

Tratamento dos dados

O uso da técnica de análise fatorial na elaboração do IQA permitiu observar e interpretar as tendências espaciais dos cursos d'água superficiais estudados. O IQA médio do período, determinado para cada ponto de amostragem de água (Tabela 5), é representado pelo fator 1, obtido através da análise de componentes principais, o qual explicou 67% da variância total para as 12 variáveis originais selecionadas no estudo da qualidade da água superficial na região do Baixo Jacuí. Neste índice, as variáveis estudadas apresentaram cargas fatoriais entre 0,63 e 0,94, tendo seus pesos distribuídos de forma equilibrada na confecção do índice.

Tabela 5 - Valores médios, mínimo e máximos do IQA para os 15 pontos amostrados na região do Baixo Jacuí.

Pontos	Nº de casos	Média	Mínimo	Máximo	Desvio Padrão
1	19	-0,273	-0,381	-0,078	0,077
2	18	-0,374	-0,425	-0,303	0,036
3	19	-0,620	0,055	1,468	0,421
4	19	2,669	-0,104	8,602	2,763
5	19	-0,042	-0,236	0,437	0,169
6	19	-0,213	-0,337	-0,065	0,083
7	19	-0,267	-0,377	-0,089	0,079
8	19	-0,256	-0,354	-0,114	0,071
9	19	-0,284	-0,372	-0,117	0,062
10	19	-0,243	-0,397	0,013	0,105
11	19	-0,328	-0,383	-0,177	0,061
12	19	-0,293	-0,359	-0,159	0,058
13	19	-0,279	-0,378	-0,079	0,068
14	19	-0,262	-0,365	0,060	0,099
15	19	-0,276	-0,391	-0,135	0,068

A partir da espacialização dos valores obtidos de IQA, foi possível observar claramente a maior influência das fontes de contaminação associadas às áreas de mineração e disposição de rejeitos do processamento de carvão, ricos em elementos traço, sobre a qualidade das águas do arroio do Conde (Figura 3).

Conforme VECCHIO *et al.*, (1996), o confronto dos resultados do IQA em cada mês amostral e os dados hidrológicos na bacia do arroio do Conde revelou sensibilidade da qualidade da água em relação às variações de vazão dos cursos d'água para a maioria dos locais contaminados, em função da redução de sua capacidade de diluição nos meses de déficit hídrico. Já no rio Jacuí não foi observada variação espacial ou sazonal na qualidade de suas águas, apesar da existência de fontes potenciais ao longo do trecho estudado, o que deve estar associado a sua alta vazão e poder de diluição das cargas poluidoras.

A análise fatorial aplicada aos sedimentos resultou em dois fatores relativos à extração total (Tabela 6). O Ft_1 , interpretado pelas variáveis Fe, Cu, Co, Ni, Cr e Zn, apresentaram cargas fatoriais mais elevada (peso > 0,68) no ponto 10 (rio Jacuí), revelando tendência de enriquecimento da concentração total destes elementos nos sedimentos de montante a jusante em relação ao background (ponto 1). No Ft_2 destacaram-se as variáveis C_{total} e S_{total} para os pontos 3 e 4, podendo ser atribuído a presença de carvão nos sedimentos da bacia do arroio do Conde.

A análise estatística aplicada aos dados de extração parcial resultou na formação de três fatores relativos à extração parcial (Fp_1 , Fp_2 e Fp_3 - Tabela 7), que permitiram a identificação do comportamento distinto entre os pontos estudados em relação à mobilidade dos elementos metálicos.

Nos pontos *background* (pontos 1 e 2) e naqueles sob menor influência antropogênica (pontos 7 e 15), os metais estudados apresentaram menor concentração na fração parcial. No ponto 6 destacou-se a mobilidade Ni, Co, Zn e Mn, provavelmente associada ao recebimento das cargas poluentes provenientes da subbacia do arroio do Conde. O fator 1, representado pelos pontos 3 e 4, é caracterizado pela mobilidade do Fe e teores mais elevados de C_{total} e S_{total} em resposta à influência das atividades do processamento do carvão. O fator 3 representado pelos pontos 8, 9, 10, 12, 13 e 14, caracterizaram-se pela maior mobilidade de Cu e Cr, destacando a importância de fontes antrópicas industriais (termoelétrica e, principalmente, siderurgia) ao longo do rio Jacuí, as quais não foram salientadas através do IQA.

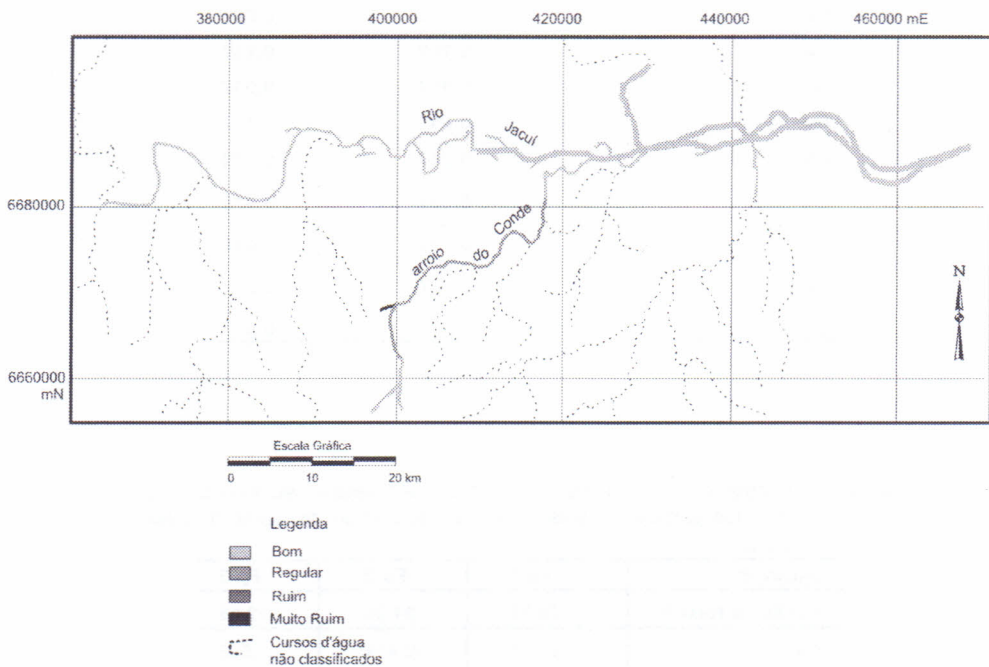


Figura 3 - IQA - Índice de qualidade de água para a região do Baixo Jacuí, RS

Tabela 6 - Cargas fatoriais da concentração dos elementos determinados nos extratos totais de sedimentos de superfície da região do Baixo Jacuí

Variáveis	Ft 1	Ft 2
Variância total %	47,80	13,83
Pb	0,095	0,089
Cr	0,687	0,061
Fe	0,793	0,247
Ni	0,851	0,047
Cu	0,847	0,167
Co	0,747	0,179
Mn	0,591	0,459
Zn	0,760	0,015
Ctotal	0,007	-0,881
Stotal	-0,263	-0,815

Tabela 7 - Cargas fatoriais da concentração dos elementos determinados nos extratos parciais de sedimentos de superfície da região do Baixo Jacuí.

Variáveis	Fp 1	Fp 2	Fp 3
Variância total %	34,71	24,28	13,65
Pb	0,186	-0,404	-0,565
Cr	0,022	-0,090	0,817
Fe	0,791	-0,245	0,159
Ni	0,127	0,916	-0,062
Cu	-0,225	-0,020	0,879
Co	-0,343	0,817	0,200
Mn	-0,529	0,507	0,458
Zn	0,119	0,910	-0,085
Ctotal	0,556	0,150	-0,266
Stotal	0,889	0,089	-0,222

A mobilidade dos elementos traço no ambiente, que pode ser verificada através da análise de sua concentração na fase potencialmente disponível (extração parcial com ácidos fracos), condiciona sua disponibilidade para a coluna d'água e para os organismos aquáticos, podendo atingir finalmente o homem. A fração potencialmente móvel destes elementos é também a que melhor representa os possíveis incrementos antropogênicos de concentração nos sedimentos quando comparada a locais não poluídos, uma vez que as fontes de contaminação geralmente afetam a disponibilidade e o comportamento geoquímico dos contaminantes.

Deste modo, apenas os resultados do tratamento estatístico das análises da extração parcial dos sedimentos foram sintetizados através do SIG e apresentados nas Figuras 4, 5 e 6. Quando comparadas à Figura 3, salienta-se a maior sensibilidade do compartimento sedimentar na detecção dos impactos antrópicos sobre a acumulação de elementos traço no ambiente aquático, que pode ser facilmente visualizada através dos mapas gerados.

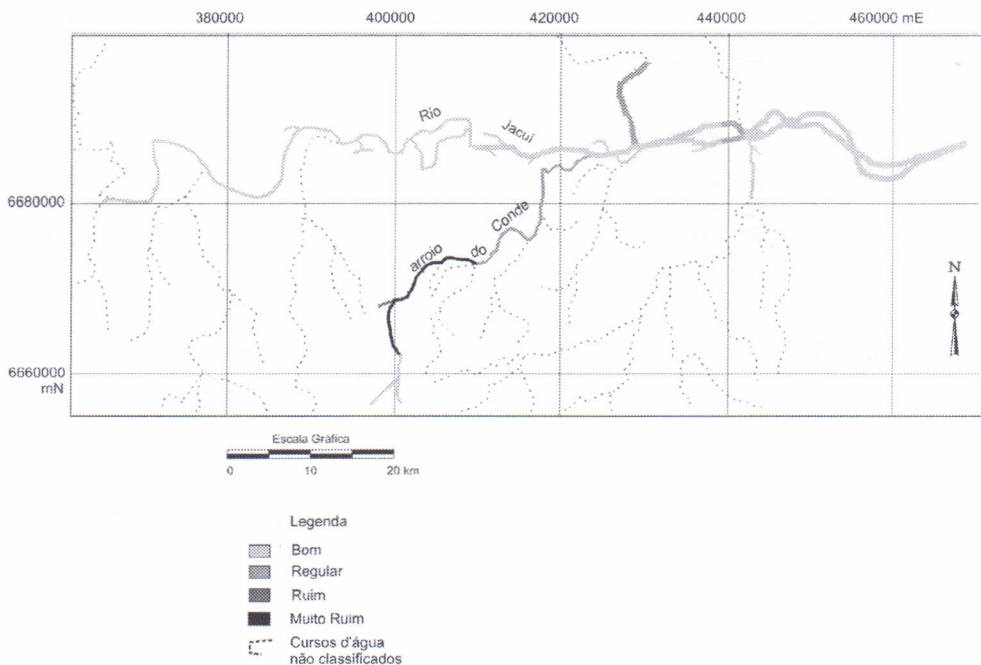


Figura 4 - Qualidade dos sedimentos fluviais em relação à concentração de C_{total} e à concentração de Fe na extração parcial do sedimento.

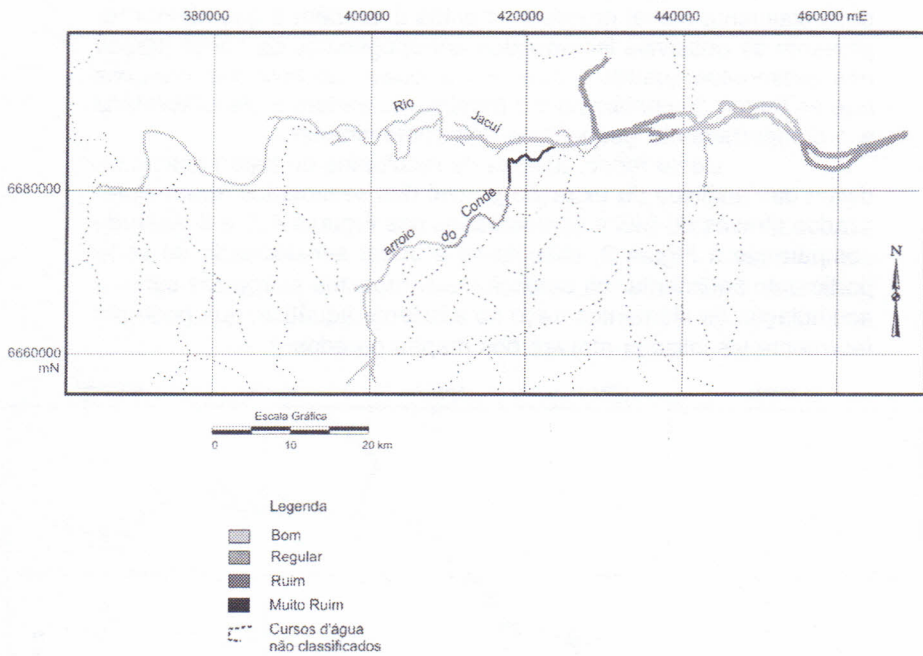


Figura 5 - Qualidade dos sedimentos fluviais em relação à concentração de Ni, Co, Zn e Mn na extração parcial do sedimento.

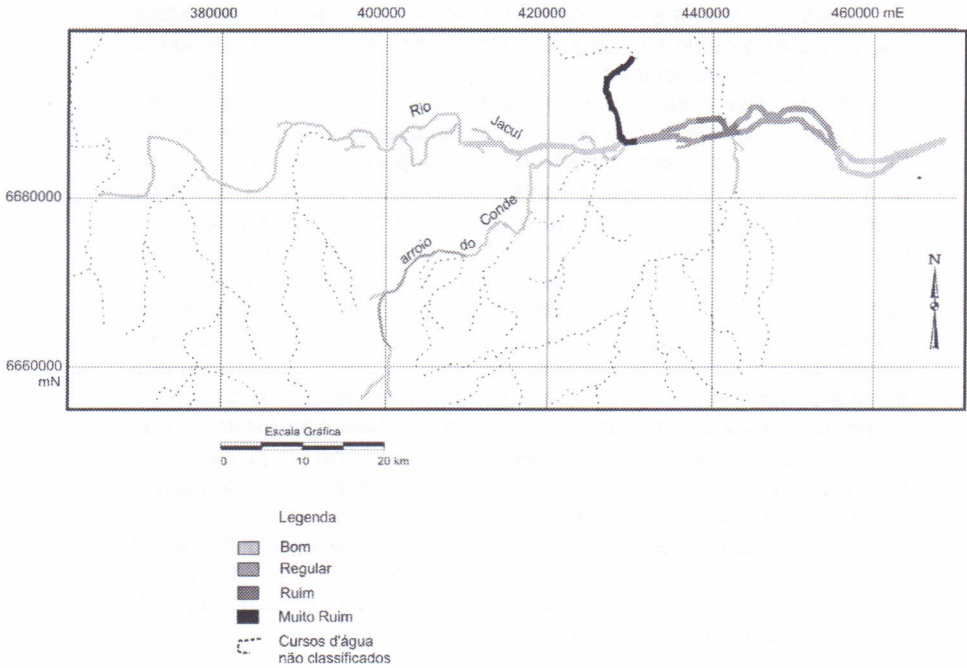


Figura 6 - Qualidade dos sedimentos fluviais em relação à concentração de Cu e Cr na extração parcial do sedimento.

CONCLUSÕES

Através da elaboração do IQA e da espacialização via SIG, como ferramentas de integração dos resultados de qualidade de águas, foi possível detectar os trechos críticos em relação à concentração dos parâmetros analisados, especialmente de elementos traço, nos arroios do Conde e dos Ratos. Entretanto, boa qualidade e sem variação espacial foi observada ao longo do rio Jacuí, em função de sua alta vazão e conseqüente capacidade de diluição. Por outro lado, a aplicação das técnicas de análise fatorial aos sedimentos mostrou maior sensibilidade deste compartimento na avaliação da influência das principais fontes poluidoras sobre os recursos hídricos da região estudada, principalmente no que diz respeito à concentração de elemento traço na fase potencialmente disponível.

De forma geral, conclui-se que as águas superficiais da bacia do arroio do Conde encontram-se contaminadas por elementos traço nos locais mais próximos às fontes de mineração e depósitos de rejeitos de carvão. Esta contaminação encontra-se acumulada nos sedimentos, em locais a jusante destas fontes. A qualidade do rio Jacuí não se encontra ainda alterada, apesar da existência de fontes locais. Entretanto, os poluentes lançados no rio já estão sofrendo processo de acumulação nos sedimentos, principalmente nos locais mais próximos à siderúrgica.

Estes resultados puderam ser sintetizados e melhor visualizados através da combinação das técnicas de geoprocessamento, facilitando a apresentação das conclusões deste estudo para o público em geral.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a FINEP/PADCT-GTM e a FAPERGS pelo suporte financeiro que possibilitou a realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDREAZZA, A.M.P. *Contribuição a gestão ambiental da bacia hidrográfica do arroio do Conde/RS com ênfase na qualidade das águas superficiais*. Dissertação de Mestrado. Curso de Pós-Graduação em Ecologia- IB/UFRGS, 1997, 184p.
- APHA. *Standard methods for the examination of the water and waste water*. Greeberg, A.E.; Cleseeri, L.S.; Eaton, A.D. (Eds.) 18th edition, 1992.
- BAISCH, P. *Les oligo-elements metalliques du systeme fluvio-lagunaire dos Patos (Bresil) - Flux et devenir*. Bordeaux. Tese de Doutorado, L'Université de Bordeaux I.1994, 230p.
- BINOTTO, R.B. *Avaliação do grau de contaminação das águas subterrâneas em áreas de influência de resíduos do processamento do carvão*. Porto Alegre, RS. Dissertação de Mestrado em Engenharia, PPGEMM - UFRGS. 1997,184p.
- BINOTTO, R.B.; TEIXEIRA, E.C.; SÂNCHEZ, J.C.D.; NANNI, A.S.; FERNANDES, I.D. E MIGLIAVACCA, D.M. *Avaliação ambiental da região do Baixo Jacuí, RS, Brasil: localização, descrição e caracterização dos resíduos provenientes das atividades de processamento de carvão*. Porto Alegre: FEPAM;CIENITEC, 1999, 40p.
- FACHEL, J.M.G. *Análise Fatorial*. Master These. Instituto de Matemática/USP, São Paulo, 1976.
- FÖRSTNER, U. & SALOMONS, W. Trace metal analysis on polluted sediments, part I: assessment of sources and intensities. *Environ. Technol. Letters*. 1980, 1, 494-505.
- HAASE, J. & POSSOLI, S. Estudo da utilização da técnica de análise fatorial na elaboração de um índice de qualidade da água: comparação entre dois regimes hidrológicos diferentes. RS. *Acta Limnol. Bras*. 1993, vol. VI: 245-255.
- HAIR, J.F.; ANDERSON, R.E.; TATHAM, R.L.; BLACK, W.C. *Multivariate data analysis*. 5th. Ed. Upper Saddle River, New Jersey, 1998, 730p.
- RODRIGUES, M.L.K. *Diagnóstico da poluição por elementos-traço no sedimento da bacia hidrográfica do rio Caí (RS)*. Porto Alegre, RS. Dissertação de Mestrado em Ecologia, Instituto de Biociências - UFRGS. 1997, 124p.
- RODRIGUEZ, M.T.; HASENACK, H.; PUNDT, H; NOELLE, O. Tratamento de dados químicos em sistemas de informação geográfica. GIS Brasil'99. *Anais em Cdrom*,1998.

- TEIXEIRA, E.C.; SANCHEZ, J.D; FERNADES, L.D.; FORMOSO. M.L.L.; PEGORINI, J. e PESTANA M.H.D. A preliminary study of metals in sediments from areas influenced by coal processing and steel industry activities - Baixo Jacuí region, RS - Brazil. *Environ.Technol.*, 1997, 18: 581-592.
- TEIXEIRA, E.C. *Avaliação da poluição hídrica e atmosférica em áreas de mineração e utilização de carvão do Baixo Jacuí, RS.* FINEP-PADCT/GTM. Relatório Técnico, conv. n°. 65.93.0322.00, 1998, 5 volumes.
- TEIXEIRA, E.C.; BINOTTO, R.R.; SANCHEZ, J.C.D.; MIGLIAVACCA, D. AND FACHEL, J. Environmental assessment and characterisation of residues from coal processing and steel industry activities. *Fuel.*, 1999,78,1161-1169.
- VECCHIO, G.R.; HAASE, J.; PANKOWSKI, A.; TEIXEIRA, E.C; SANCHEZ, J.C.D.; MIGLIAVACCA, D. Estudo de um índice de qualidade da água na região do Baixo Jacuí - RS. In: 3º Simpósio Ítalo-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Gramado, RS: ABES/ANDIS. *Anais...* 1996, vol. 6 (32) p.1-13.
- WEBER, E. & HASENACK, H. Análise de alternativas de traçado de um gasoduto utilizando rotinas de apoio à decisão em SIG. *Fator GIS on line* (<http://fatorgis.com.br/artigos/gis/gasoduto>), 1998, 8p.

DANIELA MONTANARI MIGLIAVACCA
LÚCIA SCHILD ORTIZ
FELIPE DEPPE ALVES
ELBA CALESSO TEIXEIRA
Fundação Estadual de Proteção Ambiental - FEPAM
Rua Carlos Chagas 55/707
Porto Alegre - Rio Grande do sul - Brasil
E-mail: gerpro.pesquisa@fepam.re.gov.br
HENRIQUE HASENACK
Centro de Ecologia - UFRGS
Porto Alegre - Rio Grande do Sul, BR