APLICAÇÃO DE ANÁLISE MULTIVARIADA PARA DETERMINAÇÃO DE ÍNDICE DE QUALIDADE DA ÁGUA EM BACIAS COM ATIVIDADE AGRÍCOLA

Maria Lúcia K. Rodrigues, Raquel B. Binotto, Ana Lúcia M. Rodrigues, Guilherme Joaquim, Jovana Bavaresco e Anderson de Souza
Fundação Estadual de Proteção Ambiental do Rio Grande do Sul - FEPAM/RS
Rua Carlos Chagas, 55/715
Telefone/Fax: (51) 3225-1588 Ramal 207
CEP 90030-020 - Porto Alegre, RS - Brasil
e-mail reg.uruguai@fepam.rs.gov.br

RESUMO

A técnica estatística multivariada de ordenação métrica por componentes principais foi utilizada na unidade hidrográfica U-030, pertencente à Região Hidrográfica do Uruguai, para obter um Índice de Qualidade da Água (IQA) que refletisse o grau de contaminação dos rios avaliados. Entre junho/2004 e janeiro/2005 foram realizadas campanhas de monitoramento em 44 pontos de amostragem, onde foram determinados os parâmetros físicos e químicos que compuseram o IQA. Os resultados obtidos mostraram, de forma geral, a ocorrência de pulsos de contaminação e sua relação com o manejo dos solos, com a carga difusa oriunda da atividade agrícola e do uso de dejetos de suínos como fertilizante, com as características fisiográficas e com os índices de pluviosidade observados na região. A técnica empregada mostrou-se eficaz para visualização de áreas/épocas críticas em termos de qualidade das águas na U-030, permitindo ações integradas de gestão entre o órgão ambiental e o Comitê de Bacia Hidrográfica.

ABSTRACT

Principal component analysis was used to get a statistical water quality index (WQI) that reflected the contamination degree of stream waters from the U-030 hydrographic unit, which belongs to Uruguay river basin. From June 2004 to January 2005, selected physical and chemical variables were evaluated at 44 surface water sampling points which generated the WQI. WQI generally showed the occurrence of contamination pulses and its relation with agricultural management, with diffuse contribution from agriculture and the application of swine manure to farmland, as well as with the environmental characteristics and the observed indices of rainfall in the region. The employed technique was efficient to show critical sites and periods in terms of quality of waters in the U-030, facilitating actions of management for the environmental agency and Committee of Watershed.

1 INTRODUÇÃO

Por intermédio de Convênio celebrado em 2002, com o Ministério do Meio Ambiente - MMA, o Estado do Rio Grande do Sul, através da Fundação Estadual de Proteção Ambiental - FEPAM e do Departamento de Recursos Hídricos - DRH, está recebendo recursos para o desenvolvimento do projeto: “Monitoramento da Qualidade das Águas na Bacia Hidrográfica dos Rios Turvo, Santa Rosa e Santo Cristo (U-030), Região Hidrográfica

do Uruguai/RS, como subsídio à gestão de recursos hídricos e ao controle ambiental (MQA-RS / PNMA II)".

As prioridades deste Projeto definiram-se pela necessidade de implementação de uma política de ações de gerenciamento integrado, buscando soluções para os problemas ambientais em bacias hidrográficas com padrão de ocupação agrícola e com atividades econômicas preponderantes de grande impacto ambiental sobre a qualidade dos recursos hídricos, como é o caso da suinocultura. Dessa forma, a implantação e operação de uma rede básica de monitoramento da qualidade da água superficial e o monitoramento sistemático da qualidade da água subterrânea foram o foco principal desse projeto. Adicionalmente, foi priorizada a definição de um índice de qualidade da água que sintetizasse os dados obtidos pelo monitoramento tornando-os facilmente interpretáveis e de fácil apropriação e compreensão pela comunidade envolvida. A estratégia adotada foi definida considerando o fortalecimento do Comitê de Gerenciamento da Bacia Hidrográfica em estudo, de forma a assegurar a participação da sociedade local no processo de planejamento e gestão dos recursos hídricos e o aprimoramento das ações de monitoramento ambiental desenvolvidas pela FEPAM.

Segundo TOLEDO *et al.* (2002), o monitoramento de parâmetros de qualidade da água em microbacias hidrográficas constitui-se em ferramenta básica para avaliar alterações ambientais causadas pela ação humana ou do próprio ambiente, uma vez que a maior parte das ações desenvolvidas sobre o ambiente acaba se refletindo na qualidade dos cursos de água das microbacias. Como estas ações são de natureza distinta, nem sempre é possível isolar a influência destes fatores daqueles diretamente relacionados com a atividade agrícola. As fontes difusas de poluição, especialmente a agricultura, têm sido objeto de atenção em muitos países devido à dificuldade de se estabelecer procedimentos de avaliação de impactos ambientais e de se adotar padrões aceitáveis, como outrora ocorreu com as fontes pontuais. Cabe lembrar que cada bacia hidrográfica possui características próprias, o que torna difícil estabelecer uma única variável como indicador padrão para qualquer sistema hídrico.

A caracterização de um compartimento ambiental geralmente envolve a observação de múltiplas medidas para diferentes objetos, sendo necessário examinar associações entre variáveis e aplicar técnicas estatísticas que ressaltem as diferenças entre amostras do universo investigado. Dentre as técnicas de estatística multivariada, a ordenação métrica por componentes principais tem demonstrado grande utilidade para sintetizar e evidenciar padrões em bancos de dados complexos, caracterizando as propriedades mais importantes para descrição da área investigada (SALMAN E RUKA'H, 1999). Vários estudos desenvolvidos no Estado do Rio Grande do Sul têm utilizado a hierarquização por componentes principais para determinar índices de qualidade de águas e sedimentos sob influência de fontes pontuais (HAASE *et al*., 1993; TEIXEIRA *et al*., 2000; RODRIGUES E RAYA-RODRIGUEZ, 2003; HAASE *et al*., 2003). Entretanto, pouco se sabe a respeito dos resultados da aplicação da técnica em áreas afetadas por fontes de contaminação difusa, como as vastas áreas agrícolas do noroeste riograndense, onde a variabilidade de dados resultantes do monitoramento ambiental tende, teoricamente, a ser menos acentuada. Como o tipo e a concentração de agentes tóxicos que ocorrem nas águas superficiais geralmente estão intimamente vinculados às práticas de manejo dos solos nas áreas circundantes (RNRF, 2005), o reconhecimento de tendências propiciado pela aplicação da ordenação métrica poderia facilitar o rastreamento de diferentes fontes não pontuais de contribuição e indicar segmentos de rios mais vulneráveis ao impacto da dispersão de contaminantes.

Neste contexto, o presente trabalho tem por objetivo testar a técnica estatística de ordenação métrica por componentes principais para determinar um índice de qualidade de águas superficiais, usando os dados de monitoramento levantados durante o desenvolvimento do Projeto MQA-RS / PNMA II na bacia hidrográfica dos rios Turvo, Santa Rosa e Santo Cristo (U-030), como subsídio à gestão dos recursos hídricos pelo órgão ambiental estadual

(FEPAM) e respectivo comitê de gerenciamento de bacia hidrográfica. Os resultados obtidos buscam avaliar a viabilidade de aplicação da técnica em uma área tipicamente dedicada à atividades agrícolas e, conseqüentemente, afetada por fontes difusas de contaminação.

2 ÁREA DE ESTUDO

O presente estudo contempla uma área de 10.757 km^2, situada no extremo norte do Estado, na Região Hidrográfica do Uruguai, entre as coordenadas geográficas 27°07' e 28°13' de latitude Sul e 53°24' e 55°20' de longitude Oeste, e apresenta uma rede de drenagem de 7.783 km de cursos d'água (Figura 1).

Constitui-se numa unidade básica de planejamento e gestão (U-030) formada por um conjunto de bacias hidrográficas situadas à margem esquerda do rio Uruguai, englobando as bacias dos rios Amandaú, Buricá, Comandaí, Lajeado Grande, Santo Cristo, Santa Rosa, Turvo e outros afluentes menores que drenam diretamente para o rio Uruguai. Abrange total ou parcialmente territórios de 55 municípios.

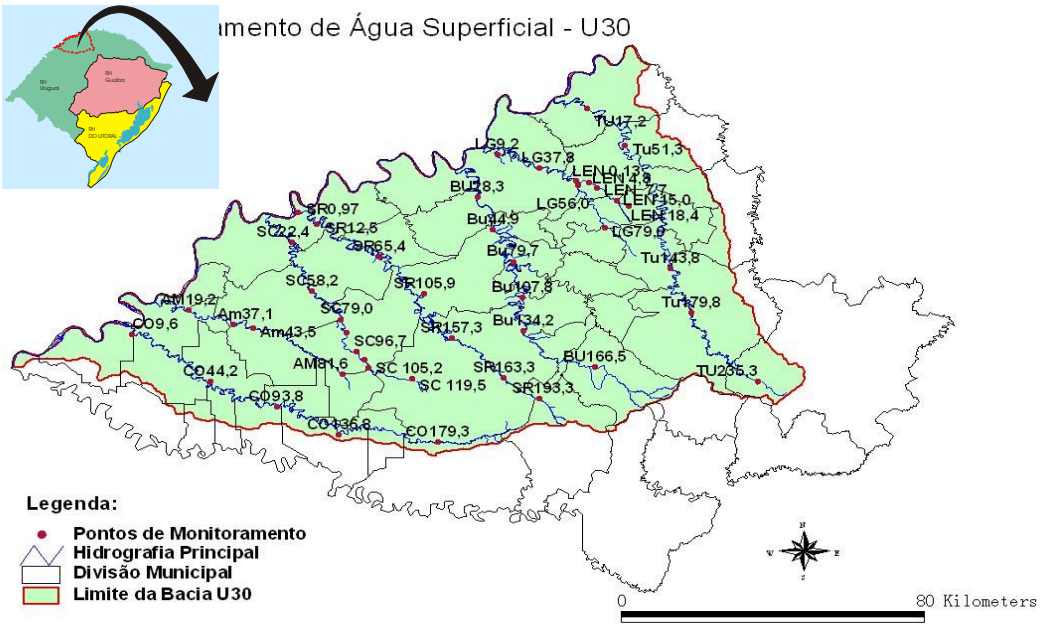

Figura 1 – Localização da área de estudo e dos pontos de monitoramento.

Constituindo-se numa área com população predominantemente rural, com taxas de urbanização inferiores a 20%, a U-030 caracteriza-se por apresentar, atualmente, demandas significativas de água com perspectivas de aumentar o consumo em função das atividades sócio-econômicas que se desenvolvem na região. Nesta, predominam as pequenas e médias propriedades e a produção animal está ligada à agroindústria, destacando-se a produção de suínos e aves. É grande, também, a diversidade de culturas, envolvendo grãos – soja, trigo e milho, fumo e frutas.

O uso conflitante da água é observado nas atividades voltadas à produção agrícola e criação de animais, principalmente na suinocultura, por demandarem grande volume de água e por comprometerem a qualidade dos corpos hídricos, interferindo, muitas vezes, no abastecimento populacional. A suinocultura constitui-se em atividade de grande potencial poluidor nessa área, devido à drenagem e/ou aporte direto dos dejetos dos animais que, associado à elevada concentração e localização inadequada das sedes de criação, resulta no aumento da concentração de matéria orgânica e patógenos na água.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Coletaram-se amostras de água superficial em 44 pontos de coleta, localizados ao longo dos sete principais rios formadores da U-030 (Figura 1), previamente selecionados com base nas informações sobre o uso/ocupação do solo, principais atividades econômicas da área de estudo e facilidade de acesso, conforme descrito em FEPAM (2003a). A codificação de cada ponto de coleta se constitui de letras maiúsculas relativas ao nome do rio no qual está localizado, seguido de número que expressa a distância (km) do ponto até a foz do curso principal.

A amostragem estendeu-se de junho de 2004 a janeiro de 2005, com freqüência mensal, seguindo procedimentos descritos no manual da CETESB (1977) e em APHA (1995). Determinaram-se em campo Temperatura do ar e da água, Oxigênio Dissolvido, pH e Condutividade Elétrica, de acordo com as recomendações de APHA (1995) e ABNT (1987).

Foram selecionados os seguintes parâmetros para determinação em laboratório (FEPAM, 2003b), conforme as metodologias analíticas preconizadas em APHA (1995):

- no laboratório da empresa Pró-Ambiente (RS): Cloreto, DBO_5, DQO, Fósforo total, Nitrato, Nitrogênio Kjeldahl total, Fosfato orto, Sólidos totais, Turbidez, teores totais de Alumínio, Cobre, Ferro, Manganês, Zinco, Sódio e Potássio;
- nos laboratórios da UNIJUÍ Campus Santa Rosa e Ijuí: Coliformes totais e fecais.

A partir do banco de dados estruturado e consistido, avaliaram-se a média e o intervalo de variação de cada variável, estabelecendo-se a comparação dos resultados com os padrões de qualidade vigentes para as águas de classe 2 (CONAMA, 2005).

Com auxílio do software *Statistica for Windows*, seguiu-se a rotina de procedimentos para análise de componentes principais. A partir de uma matriz de correlações de Pearson, determinou-se a matriz de cargas, onde o grupo inicial de variáveis foi substituído por um conjunto menor de variáveis hipotéticas, capazes de explicar sinteticamente a maior parte da informação contida nos dados originais (FACHEL, 1977). A seguir, determinaram-se os coeficientes dos escores de ordenação, correspondentes ao peso de cada variável na composição do índice. Utilizando a Equação 1, calcularam-se os índices de qualidade da água, que correspondem aos escores de ordenação das unidades amostrais. No presente estudo, valores positivos dos índices indicam condições de pior qualidade da água. O método de obtenção dos índices estatísticos de qualidade da água está detalhado em HAASE *et al*. (1993).

$$IQA = c_1 z_1 + c_2 z_2 + ,,, + c_n z_n \qquad (1)$$

IQA = índice de qualidade (escore) obtido para cada unidade amostral; c_n = coeficiente (peso) da variável *n*; z_n = variável padronizada

Considerando que apenas alguns dos componentes resultantes da análise são passíveis de interpretação, utilizou-se o método *broken-stick* (JACKSON, 1993; RODRIGUES et al., 2003) para avaliar a significância dos eixos de ordenação.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os dados brutos relativos às coletas realizadas na U-030 podem ser consultados em http://www.fepam.rs.gov.br/programas/monitoramento_uru.asp . Ressalta-se que os resultados obtidos para coliformes não foram utilizados no presente trabalho.

Com a aplicação da ordenação métrica por componentes principais, as informações foram resumidas em quatro dimensões, de acordo com a matriz de cargas representada na

Tabela 1. O teste *broken-stick* apontou a significância do primeiro componente da ordenação, que conteve 38% da variância total e foi o único a distinguir-se de resultados gerados com dados totalmente aleatórios. Em ordem decrescente de importância, as variáveis melhor refletidas no componente 1 foram Alumínio, Turbidez, Ferro, Manganês, DBO_5, Sólidos Totais e DQO, todas com correlações acima de 0,75. Cobre, Nitrato, Potássio, Fósforo Total, Nitrogênio Kjeldahl Total e Zinco também apresentaram boas correlações no primeiro componente (0,7 a 0,5). A natureza das variáveis identificadas como relevantes para descrição da área de estudo indicou uma associação direta com as práticas de manejo de solo desenvolvidas nos limites da unidade hidrográfica, demonstrando que o solo é o compartimento ambiental onde estão concentradas as substâncias originadas tanto de fontes de contribuição naturais quanto antropogênicas, em um padrão típico de poluição difusa, onde os contaminantes são carreados para os cursos d´água associados às partículas de solo.

Tabela 1 – Matriz de cargas

VARIÁVEL	COMPONENTE			
	1	2	3	4
Temperatura	-0,16	-0,74	-0,13	-0,34
pH	-0,33	-0,30	-0,09	-0,30
Oxigênio Dissolvido	0,05	0,38	0,21	0,53
Condutividade	0,10	-0,07	0,87	0,11
Cloreto	0,36	-0,11	0,71	-0,20
DBO	0,79	0,12	-0,17	0,25
DQO	0,77	0,16	-0,16	0,25
Fósforo Total	0,53	-0,57	0,10	0,40
Nitrato	0,65	0,03	-0,02	-0,38
Nitrogênio Kjeldahl Total	0,52	0,26	-0,07	-0,46
Fosfato orto Total	0,04	-0,74	0,33	0,20
Sólidos Totais	0,78	-0,32	-0,09	0,17
Turbidez	0,90	-0,22	-0,09	0,05
Alumínio	0,93	0,01	-0,17	-0,06
Cobre	0,68	0,00	-0,13	0,07
Ferro	0,89	0,04	-0,06	-0,20
Manganês	0,87	-0,29	-0,13	0,12
Zinco	0,48	0,44	0,04	-0,13
Sódio	0,43	0,55	0,39	0,04
Potássio	0,59	-0,03	0,37	-0,52
Explicação da Variância	7,52	2,51	1,88	1,61
Proporção do Total	0,38	0,13	0,09	0,08

A Figura 2 ilustra a variação do índice de qualidade da água (IQA) na U-030, observando-se que 75% dos valores assumidos pelo índice em cada bacia situam-se em um intervalo bem estreito de variação.

Observa-se que as maiores variações de qualidade da água (pulsos) ocorrem no Lajeado Erval Novo (LEN), que também apresenta os piores índices de qualidade (maiores valores positivos) (Figura 2). Na seqüência, as bacias dos rios Turvo (TU), Comandaí (CO) e Santo Cristo (SC) são as que apresentam os piores índices de qualidade, com máximos acima de 3 desvios da média de todos os índices, que é igual a zero (Figura 2). Normalmente, o IQA deve estar em um intervalo de –3 a +3 desvios. Em termos temporais (Figura 2), observa-se que os meses de julho e outubro são os que apresentaram as maiores variações de qualidade da água (pulsos).

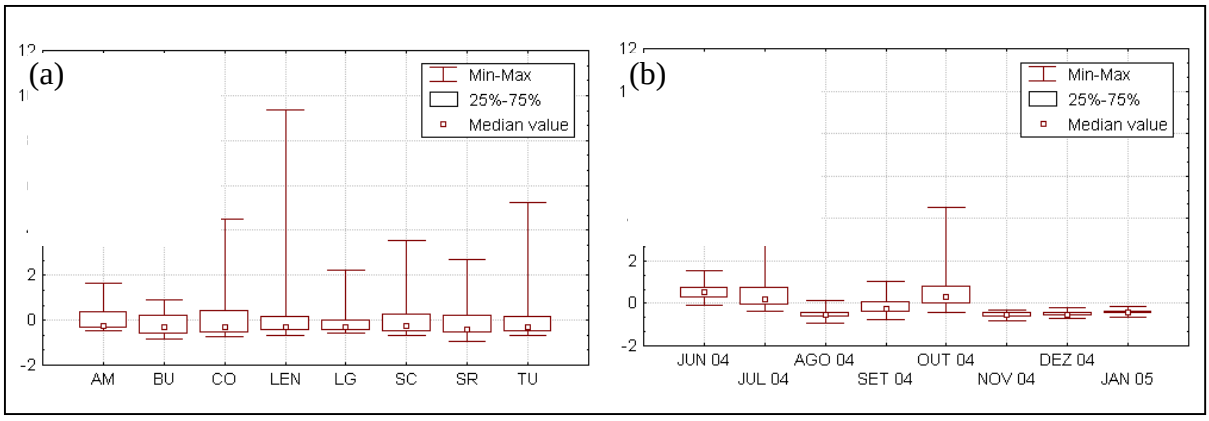

Figura 2 – Variação espacial (a) e temporal (b) dos índices de qualidade da água.

A visualização espacial e temporal da distribuição do IQA acima comentada está representada na Figura 3, sendo arbitradas cinco faixas de IQA com intervalo de um desvio-padrão entre cada faixa, variando de péssimo a ótimo. É observada uma tendência de associação da qualidade da água com o manejo do solo, as características fisiográficas e os índices de pluviosidade observados na região. Além das práticas de manejo do solo desenvolvidas em certos períodos do ano, os eventuais pulsos de contaminação observados provavelmente estão associados às características da área física no entorno dos locais de coleta, que podem ser mais propícias a processos de escoamento superficial e conseqüente arraste de solos erodidos para o leito dos rios. É o caso, por exemplo, da pior qualidade das águas observada no mês de outubro, coincidente com o preparo dos solos para o plantio (solo descoberto) e maiores índices de pluviosidade.

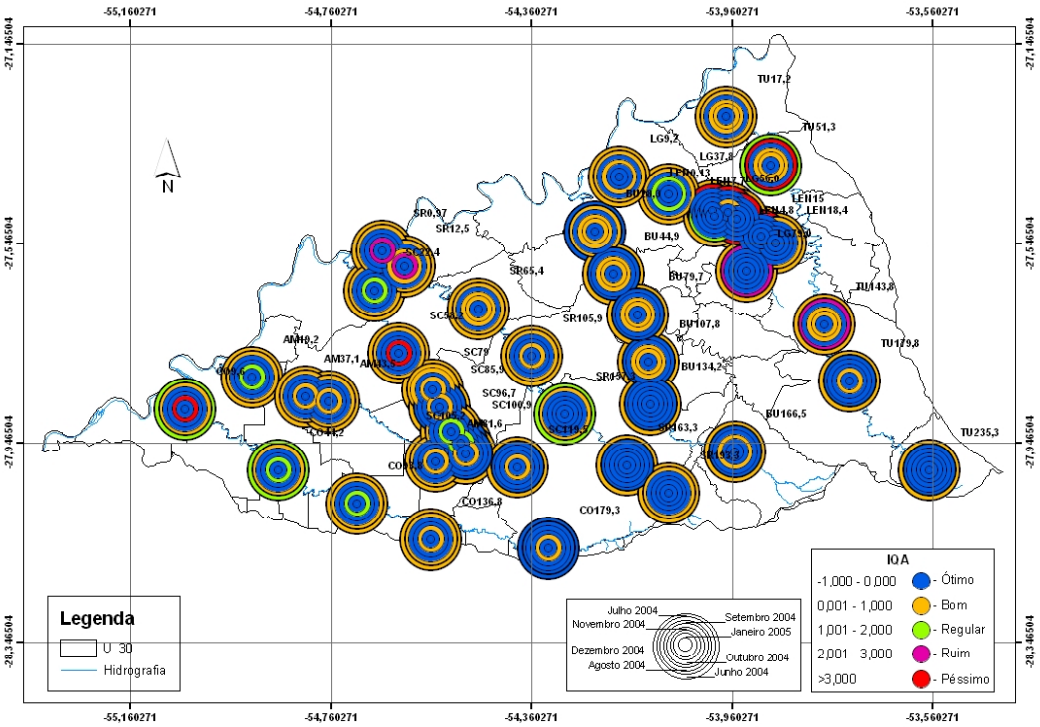

Figura 3 – Distribuição espacial e temporal do IQA na U-030.

Com relação à comparação dos valores brutos de concentração determinados com a Resolução CONAMA 357/2005 (Figura 4), observa-se uma homogeneização dos resultados,

com a maioria atendendo aos padrões de qualidade estabelecidos para a Classe 1, compatíveis com usos mais nobres da água.

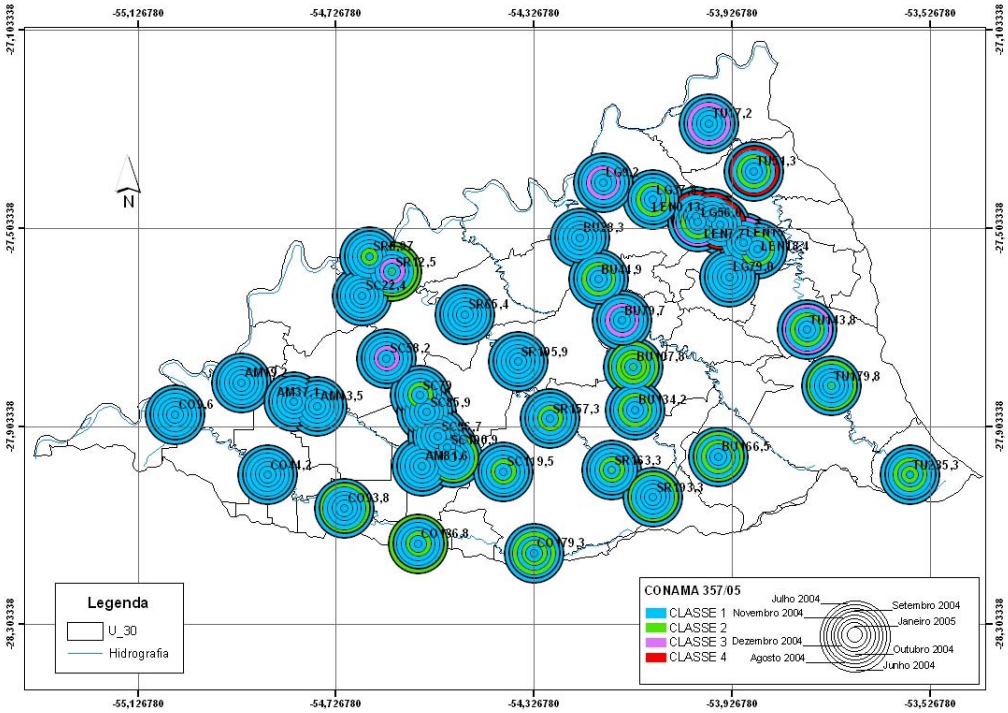

Figura 4 – Distribuição espacial e temporal dos resultados conforme padrões de qualidade vigentes na Resolução 357/2005 (CONAMA, 2005) na U-030.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A ordenação dos dados por componentes principais foi sensível para revelar padrões no banco de dados obtido para a avaliação da qualidade de águas superficiais afetadas por fontes não pontuais de poluição. Os dados foram sintetizados em um único componente principal significativo, que foi associado à influência do manejo do solo na região. Observou-se que as águas avaliadas em geral mantiveram uma qualidade constante e aceitável em todos os locais, ao longo do período avaliado, registrando, porém eventuais pulsos de contaminação.

Fatores naturais (geologia, relevo, tipos de solos, clima, hidrologia) e práticas sazonais de manejo das áreas agrícolas (preparação da terra para cultivo, disposição de dejetos suínos, aplicação de insumos e biocidas, irrigação) parecem determinar o transporte de contaminantes concentrados nos solos até as águas superficiais circundantes, aumentando a vulnerabilidade à degradação ambiental e exposição humana.

Há que se ressaltar, ainda, que a espacialização no tempo e no espaço do IQA proposto facilita a visualização, pela população em geral e pelos membros do comitê de bacia hidrográfica em especial, dos resultados e das áreas/épocas críticas em termos de qualidade das águas, permitindo o planejamento de ações de gestão na unidade hidrográfica avaliada.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. ***Preservação e técnicas de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores. Procedimento (NBR9898)***. Rio de Janeiro, 1987.

APHA. ***Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater***. 19.ed. Washington: APHA, 1995.

CETESB. ***Guia Técnico de Coleta de Amostras de Água***. São Paulo: CETESB, 1977. 257p.

CONAMA. Resolução nº 357 de 17/03/2005. ***Diário Oficial da União***, Brasília, 18/03/2005, p.59-60.

FACHEL, J.M.G. ***Análise fatorial***. São Paulo: USP, 1976. Dissertação (Mestrado em Estatística), Instituto de Matemática e Estatística, Universidade de São Paulo, 1976. 81p.

FEPAM. 2003a. Planejamento da Estrutura da Rede de Monitoramento da Qualidade de Água Superficial e Avaliação de um Conjunto de Pontos de monitoramento da Qualidade da Água Subterrânea – Relatório de Estabelecimento da Microlocalização dos Pontos de Amostragem de Águas Superficiais. Relatório de consultoria elaborado por Quím. Gracianine Rocca Vecchio. (relatório interno) (disponível em www.fepam.rs.gov.br).

FEPAM. 2003b. Planejamento da Estrutura da Rede de Monitoramento da Qualidade de Água Superficial e Avaliação de um Conjunto de Pontos de monitoramento da Qualidade da Água Subterrânea – Relatório de Definição dos Parâmetros de Monitoramento. Relatório de consultoria elaborado por Quím. Gracianine Rocca Vecchio. (relatório interno) (disponível em www.fepam.rs.gov.br).

FEPAM. 2004. Levantamento e análise de dados secundários relativos aos meios físico, biótico e sócio-econômico da Bacia Hidrográfica dos Rios Turvo, Santa Rosa e Santo Cristo – (MQA/PNMA II) – Relatório 1. Relatório de consultoria elaborado pela PROFILL Engenharia e Meio Ambiente S.A. (relatório interno) (disponível em www.fepam.rs.gov.br).

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 Limnologica Brasiliensis***, v.*6*, p.245-255, 1993.

HAASE, J.; STRINGHINI, M.H.; SILVA, M.L.C.; RODRIGUES, M.L.K.; KOCH, S.M.V. Qualidade das águas superficiais do Litoral Norte e Médio do Rio Grande do Sul. In: XXII Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2003, Joinville, Brasil. ***Anais.*** Florianópolis: ABES, 2003. Secção VI-049.

JACKSON, D.A. Stopping rules in principal components analysis: a comparison of heuristical and statistical approaches. ***Ecology***, v.74, p. 2204-2214, 1993.

RODRIGUES, M.L.K.; RAYA-RODRÍGUEZ, M.T. Statistical factor analysis of heavy metal pollution in the Caí river basin sediments (Brazil). In*:* II International Symposium on Contaminated Sediments, 2003, Québec. ***Transactions***. Québec: Locat, J. *et al.* (eds.), 2003. p.394-399.

RODRIGUES, M.L.K., PILLAR, V.D.P., RAYA-RODRÍGUEZ, M.T., PEREIRA FILHO, S. Aplicação de ordenação *bootstrap* na identificação de padrões de distribuição de metais em sedimentos da bacia hidrográfica do rio Caí (RS, Brasil). ***Brazilian Journal of Ecology***, v.1-2, p.39-45, 2003-a.

RNRF. Congress on control of nonpoint source water pollution: options and opportunities. Disponível em: <http://www.rnrf.org/2002congress/02execsum.pdf> Acesso em: 3 Janeiro 2006.

SALMAN, S.R.; ABU RUKA´H, Y.R. Multivariate and principal component statistical analysis of contamination in urban and agricultural soils from north Jordan. ***Environmental Geology***, v.38, n.3, p.265-270, 1999.

TEIXEIRA, E. C.; FACHEL, J. M. G.; VECCHIO, G. R.; MIGLIAVACCA, D.; SANCHEZ, J. C. D.; HAASE, J.; S, C. COBALCHINI, S. Proposal of a water quality index for the Baixo Jacuí region, RS, Brazil. ***Geochimica Brasiliensis***, v.14, n.2, p.209-217, 2000.

TOLEDO, L. G. DE; DESCHAMPS, F. C.; NICOLELLA, G.; NOLDIN, J. A.; EBERHARDT, D. S. 2002. Impacto Ambiental da Cultura do Arroz Irrigado com Uso de Índice de Qualidade de Água (IQA). Comunicado Técnico 8 – EMBRAPA. 3 p.