

APLICAÇÃO DA ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS A QUALIDADE DE ÁGUA DO RIO CAPIVARI, COLOMBO, PARANÁ

Elenice Fritzsons¹; Luiz Eduardo Mantovani²; Ernani Rosa Filho³, Lucilia Maria Parron⁴; Ana Paula Araujo Correa⁵

RESUMO – A qualidade de água fluvial depende do regime hidrológico do rio, do substrato geológico, dos solos e do uso e ocupação das terras na bacia. O objetivo deste trabalho tem por compreender e definir a relação entre a alteração do deflúvio e os teores de alguns parâmetros de qualidade de água do rio Capivari. O trabalho foi conduzido na bacia hidrográfica do Alto Capivari, localizada 20 km ao norte da Região Metropolitana de Curitiba, Estado do Paraná, Brasil. Esta bacia é composta de rochas metadomíticas, filitos e quartzitos do Grupo Açungui. Foram analisados 696 dados diários de qualidade de água (turbidez, alcalinidade, matéria orgânica, pH e cor) e de vazão entre 1998 a 1999. Foi aplicada a Análise de Componentes Principais aos dados de qualidade de água além de análise estatística descritiva. Verificou-se que a alcalinidade e o pH se correlacionam entre si positivamente e negativamente com a vazão, turbidez, cor e matéria orgânica, as quais, apresentam forte correlação positiva entre si. Já o pH apresenta fraca correlação positiva com a alcalinidade. Os elevados índices de turbidez, matéria orgânica e cor nas águas do rio Capivari denotam uma forte degradação dos solos, decorrentes da ocupação e do uso indevido das terras e remoção parcial da proteção da floresta ciliar.

Palavras chave: qualidade de água, vazão, turbidez.

ABSTRACT – Water quality variability depends on the hydrological regime of the river or stream, mainly water discharge variability. This work was carried out in the Alto Capivari basin, located 20 km northern part of Curitiba's Metropolitan Region, Paraná state, Brazil and the objective is to understand and define the relationships between change of discharge and levels of some parameters of water quality. Daily dates of quality water and water discharge from 1998 to 1999 were analyzed and compared. The results reveal that the stream water quality varies significantly with discharge mainly for turbidity, alkalinity, pH, color and organic matter. We analyzed 696 data of daily water quality and flow rate between 1998 to 1999. We applied Principal Components Analysis and made a descriptive statistical analysis. The results shows that the alkalinity and pH were positively correlated with each other and negatively with the flow, turbidity, color and organic matter, which, together, show a strong correlation. But the low pH shows positive correlation with alkalinity. The high levels of turbidity, organic matter and color in the fluvial waters shows a strong degradation of the soil, due to the use and occupancy of land and undue lack of riparian protection

Key words: water quality, stream flow, monitoring, turbidez.

1 Pesquisadora da Embrapa Florestas, Estrada da Ribeira, km 111, Cx Postal 319, 83411-000, Colombo, Paraná. Email: elenice@cnpf.embrapa.br.

2 Professor da UFPR, Departamento de Geologia, Centro Politécnico, Cx Postal 19001, 81531-990, Curitiba, Paraná. Email: lem@ufpr.br.

3 Professor da UFPR, Departamento de Geologia, Centro Politécnico, Cx Postal 19001, 81531-990, Curitiba, Paraná. Email: ernani@ufpr.br

4 Pesquisadora da Embrapa Cerrados, BR 020, km 18, Cx Postal: 08223, 73310-970, Planaltina, Distrito Federal. Email: lucilia@cpac.embrapa.br

5 Acadêmica do curso de Biologia do Centro Universitário Campos de Andrade, Rua João Scuissiato, 1, 80310-310, Curitiba, Paraná. Email: anapeq_1984@hotmail.com.

INTRODUÇÃO

A qualidade química, física e biológica das águas fluviais apresenta grande variabilidade e, em ambientes completamente naturais, é influenciada por fatores climáticos (temperatura, umidade, ventos e precipitação), pelos tipos de rochas do substrato, pela vegetação, bem como pela contribuição da água subterrânea e das águas meteóricas.

Além dos fatores naturais, as diversas atividades humanas (agrícolas, urbano-industriais e energético-mineradoras) influenciam o meio aquático e alteram a composição das águas, o que é comum, principalmente em bacias mais artificializadas, como demonstraram Fritzsons (2003) e Fritzsons *et al.* (2004), em trabalhos que relacionam as consequências das oscilações de vazão sobre as alterações dos parâmetros de qualidade de água, em bacia submetida às atividades agrícolas e mineradoras.

As águas dos rios apresentam uma solução de dióxido de carbono, ácido carbônico, íons bicarbonatos, carbonatos constituindo um sistema que resiste às mudanças de pH. Os valores mais elevados de pH são encontrados, geralmente, em regiões nas quais o balanço hídrico é negativo, onde há influência da água do mar e em regiões carsticas. O pH das águas naturais situa-se entre 6 a 8,5, sendo que valores mais baixos ocorrem em águas com alto conteúdo orgânico e os mais altos em águas eutróficas, águas subterrâneas salgadas e lagos salgados (Chapman; Kimstack, 1992).

Quanto à alcalinidade, as águas superficiais raramente excedem os 500 mg-CaCO₃.L⁻¹ (Bittencourt; Hindi, 2000). Águas de baixa alcalinidade (<24 mg/L como CaCO₃) apresentam baixa capacidade de tamponamento e, assim, são susceptíveis à mudança de pH (Chapman; Kimstack, 1992). Águas alcalinas e com concentração elevada de cálcio e magnésio podem causar crostas internas nas canalizações de distribuição de água, especialmente quando estas águas são aquecidas. Alguns peixes são muito sensíveis às alterações da alcalinidade, especialmente na fase larval (Rojas; Rocha, 2004).

Já a alteração da cor na água pode ocorrer por contaminação mineral ou vegetal, pode ser causada por substâncias metálicas como o ferro e o manganês, matérias húmicas, taninos, algas, plantas aquáticas, protozoários, também por resíduos orgânicos e inorgânicos de indústrias, tais como de mineração, refinarias, explosivos, polpa e papel, químicas, entre outras. Em termos ambientais, para Branco (1987), a principal consequência da alteração da cor e turbidez num corpo d'água é a redução da penetração da luz solar e conseqüente diminuição da taxa fotossintética das algas, prejudicando a oxigenação do meio, principalmente em águas paradas ou em rios de baixa turbulência.

As substâncias dissolvidas provocam o que se chama de cor verdadeira, o que em conjunto com os colóides, produz o que se denomina cor aparente. A diferenciação entre a cor verdadeira e a

cor aparente, a qual é adicionada pela turbidez, é dada pelo tamanho das partículas. Assim, em amostras com baixa turbidez, a cor real, ou verdadeira, é praticamente idêntica à cor aparente (Bittencourt e Hindi, 2000).

A escala de cores varia desde um amarelo pálido até um marrom escuro, e é feita uma comparação visual da amostra. De acordo com a Resolução nº 357/2005 do CONAMA, a cor para as águas das classes 2 e 3 pode variar até 75 uH (unidades Hazen), e para as demais não há restrições. Para águas naturais, a cor varia entre 0 e 200 unidades, acima disto seriam águas em ambiente palustre de brejo ou pântano, com alto teor de matéria orgânica (Porto et al. 1991).

A turbidez da água ocorre devido à dispersão dos raios luminosos causada pela presença dos diversos tipos de sólidos, sendo os principais responsáveis pela turbidez os sólidos em suspensão, e em menor proporção, os sólidos dissolvidos os quais provocam a difusão e absorção da luz. A deposição de materiais no leito dos rios, além de provocar assoreamento, pode provocar distúrbios ecológicos, soterrando pequenos animais, plantas ou ovos de peixe, destroem abrigos necessários à reprodução.

A medida da turbidez está normalizada para o NTU, assim, 1 NTU (Nefelometric Turbidity Unit) ou 1 UNT (Unidade Nefelométrica de Turbidez) é a medida fotométrica de feixe de luz refletida a 90° por uma suspensão de 1 mg/L de formazina, em nefelômetro que siga as normas estabelecidas internacionais (Micronal, 1993). Segundo a Resolução nº 357/205 do CONAMA, o rio da classe 1 deverá apresentar um nível de até 1 UNT, para as classes 2 e 3 até 100 UNT, para as demais, não há restrições.

O conhecimento da alteração da qualidade de água de um sistema lótico frente às flutuações de vazão é de grande importância, não somente para estações de tratamento, que nos períodos chuvosos tratam água de pior qualidade, mas também para registrar o comportamento de um rio numa determinada época, seja ano ou década, refletindo as condições ambientais de sua bacia hidrográfica. Assim, o estudo da vazão parece ser mais adequado na avaliação da qualidade de um corpo de água do que a pluviometria. Sabe-se que a qualidade das águas de um rio se altera com a variação do fluxo, concentrando alguns compostos e diluindo outros. Estudos realizados pela SUDERHSA (1997), em bacias hidrográficas do Estado do Paraná, mostram que em períodos de cheias, em geral, a qualidade dos rios se deteriora. Também é conhecido que, com os dados de vazão, pode-se estimar as cargas das variáveis qualitativas, tais como, teor de sólidos dissolvidos, turbidez, matéria orgânica, entre outros (Souza, 1996).

Assim, este trabalho tem por objetivo principal compreender e definir a relação entre a alteração do deflúvio e os teores de alguns parâmetros de qualidade de água do rio Capivari. E, por

objetivo secundário, fornecer indicativos do grau de conservação da bacia do Alto Capivari através do comportamento de alguns parâmetros de qualidade de água.

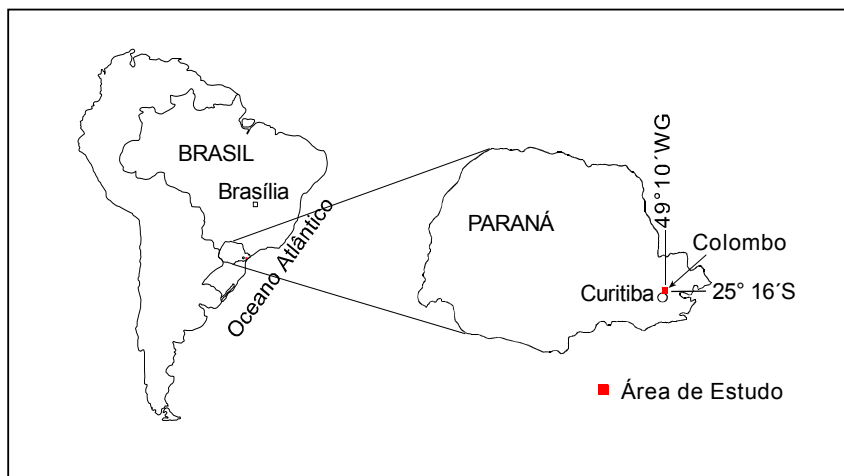
MATERIAL E MÉTODOS

O estudo se desenvolveu na bacia hidrográfica do Alto Capivari, região metropolitana de Curitiba (RMC), pertencente à bacia do Ribeira do Iguape, do conjunto do Atlântico Leste, situada a norte/ nordeste da cidade de Curitiba. (Figura 1). A bacia apresenta ao sul e a oeste os divisores comuns às bacias Ribeira e Iguaçu, a noroeste os divisores de água da bacia do rio Açungui, com drenagem dominante direcionada ao norte, para o rio Ribeira de Iguape. O clima é o Cfb (Köppen), com pluviometria média de 1400 mm e evapotranspiração em torno de 800 mm, não apresentando, em média, estação seca (Maack, 1981).

A bacia do Alto Capivari apresenta uma área de 126 km² e compreende a região que inclui desde as nascentes do rio Capivari até a estação de tratamento de água São Dimas (ETA-São Dimas), da Sanepar – Companhia de Saneamento do Paraná, no exutório da bacia. É uma bacia de 6ª ordem e há dois rios principais, o rio Capivari e seu afluente, o rio Bacaetava.

Na área de estudo predominam pequenas unidades de agricultura familiar produtoras de hortaliças, milho e feijão bem como poucos animais criados para consumo próprio. Há plantios de bracinga (*Mimosa scabrella* Bentham), campos e florestas secundárias. Medidas tomadas de floresta ciliar evidenciam que ela é degradada e, em muitos locais, inexistente (Fritzsons, 2003).

Figura 1 – Localização da área de trabalho



A região pertence ao Primeiro Planalto Paranaense e ao carste paranaense. Em grande parte da bacia, há substrato de rochas carbonáticas, dispostas em faixas, acompanhadas de filitos e

quartzitos, cortados por diques de doleritos. A mineração de rochas carbonáticas é uma atividade de forte expressão na área.

Inicialmente, foi delimitada e medida a área da bacia hidrográfica utilizando-se carta planialtimétrica na escala 1:20.000 e fotos aéreas pancromáticas na escala 1:60.000. Visitas a campo foram efetuadas para uma melhor compreensão do local.

Os dados utilizados neste estudo foram obtidos na estação de tratamento de água (ETA) de São Dimas localizada na zona rural do município de Colombo. Foram identificados e relacionados dois tipos de dados: os dados diários do boletim de tratamento de água da SANEPAR referentes aos meses de janeiro a dezembro dos anos de 1998 e 1999 e os dados diários de vazão, do mesmo período, da estação fluviométrica da Chácara da Luz (Código DNAEE: 8129100), distante cerca de 200 m da referida ETA. Foram obtidos dados das seguintes características de qualidade de água: alcalinidade, turbidez, matéria orgânica (expressa em mg/L de O₂ consumido em meio ácido), pH médio e cor verdadeira.

Como a ETA realiza várias coletas de água durante o dia, os valores médios resultam da média aritmética das amostragens diárias. Os valores máximos e mínimos são referentes aos mais altos e mais baixos valores encontrados no dia.

Os teores de matéria orgânica foram determinados indiretamente medindo-se a quantidade de oxigênio necessária para oxidar a matéria orgânica presente na amostra.

O tratamento estatístico multivariado utilizado foi a Análise de Componentes Principais realizado pelo *Statgraphics, versão Centurion*. Inicialmente a ACP foi aplicada a uma matriz formada pelo conjunto das 695 amostras e 13 variáveis.

RESULTADOS

O sumário estatístico a seguir ilustra os valores encontrados para os parâmetros (Tabela 1). Pode-se observar que a amplitude de variação de todos os parâmetros é alta, inclusive da vazão, evidenciando a grande heterogeneidade na qualidade e vazão das águas do rio Capivari. Fritzsons (2003) verificou que a precipitação nesta bacia desencadeia processos erosivos que acabam por levar os materiais erodidos (sólidos e matéria orgânica) para as águas fluviais, alterando a sua cor, podendo atingir o valor máximo de 2.000 uH. Isto ocorre devido haver na bacia vários pontos de exploração de metadolomitos (exploração de rochas calcárias) que acaba expondo muito os solos, facilitando o processo erosivo. Além disto, há na área várias estradas vicinais de terra ao lado dos rios, sem a devida proteção da floresta ciliar.

Tabela 1. Resultados da análise estatística descritiva das características de qualidade água do rio Capivari, Curitiba.

	Alcalinidade (mg-CaCO ₃ .L ⁻¹)	Cor max (uH)	Cor média (uH)	Cor min (uH)	Matéria Orgânica	pH max	pH med	pH min	Turb máxima (UNT)	Turb média (UNT)	Turb min (UNT)	Vazão (m ³ /s)
Média	92,3	216,6	167,6	118,2	4,4	8,3	8,2	8,1	46,9	29,2	18,1	3,7
D. Padrão	13,00	293,27	198,33	118,19	1,81	0,22	0,19	0,22	61,06	33,80	16,58	2,76
Coef. de variação	14,1%	135,4%	118,3%	99,9%	41,5%	2,7%	2,4%	2,7%	130,0%	115,6%	91,4%	74,6%
Valor mínimo	32,0	35,0	10,8	4,5	2,2	6,2	7,15	6,9	5,3	4,6	4,0	0,46
Valor máximo	110,0	2000,0	1400,0	1200,0	11,9	10,0	9,2	8,8	270,0	201,8	170,0	31,27
Amplitude	78,0	1965,0	1389,2	1195,5	9,7	3,8	2,05	1,9	264,7	197,2	166,0	30,81

Quanto ao pH, observa-se um valor médio bastante elevado (8,3) para águas do Rio Capivari (Tabela 1). De maneira geral, o pH da maioria das águas dos rios brasileiros apresenta a tendência de valores neutros a ácidos. Este fato é explicado pelo substrato geológico de boa parte da bacia ser metadomítico, pela influência da água subterrânea cárstica e também pela exposição dos depósitos das rochas em pó. A alcalinidade das águas também é elevada por idêntico motivo e, em geral, acompanha o pH.

Quanto ao resultado da análise de Componentes Principais obteve-se que das onze variáveis utilizadas, duas (alcalinidade e cor máxima) apresentaram autovalores maiores que um e correspondem a 82,5 % da variância total, sendo assim, do ponto de vista estatístico, as mais importantes (Tabela 2).

Tabela 2. Resultados da análise de componentes principais para as características qualidade de água do rio Capivari, Curitiba.

<i>Componentes</i>	<i>Autovalores</i>	<i>Percentagem de variância</i>	<i>Percentagem cumulativa</i>
Alcalinidade	7,08134	64,376	64,376
Cor máxima	1,99227	18,112	82,487
Cor média	0,505097	4,592	87,079
Cor mínima	0,416012	3,782	90,861
pH máximo	0,30872	2,807	93,668
pH médio	0,261697	2,379	96,047
pH mínimo	0,213729	1,943	97,990
Turbidez máxima	0,127687	1,161	99,151
Turbidez média	0,0592046	0,538	99,689
Turbidez mínima	0,0226881	0,206	99,895
Vazão	0,0115475	0,105	100,000

*Total 696 dados diários

Tabela 3. Peso dos principais componentes para as características qualidade de água do rio Capivari, Curitiba

Características	Componente 1	Componente 2
alcalinidade	0,320577	-0,0713447
cor máx	-0,336683	0,156088
cor méd	-0,33595	0,145244
cor mín	-0,326501	0,0966272
pHmax	0,145646	0,603848
pHmed	0,223627	0,564464
pHmin	0,263657	0,425518
turbidez máx	-0,331141	0,172883
turbidez méd	-0,352304	0,163083
turbidez min	-0,322388	0,130864
vazão	-0,2932	0,0467558

No gráfico da plotagem do peso dos componentes (Figura 2), observa-se que a cor (máxima, mínima e média), turbidez (máxima, mínima e média), matéria orgânica e vazão estão correlacionadas de forma positiva, ou seja, na medida em que aumenta a vazão, aumenta a cor, a turbidez e a matéria orgânica. Isto ocorre pelos motivos expostos anteriormente. O pH (máximo, mínimo e médio) e alcalinidade estão associados de forma negativa com a cor (máxima, mínima e média), turbidez (máxima, mínima e média), matéria orgânica e vazão, ou seja, quando os últimos se elevam, o pH e a alcalinidade diminuem. O pH está associado de forma positiva com a alcalinidade, ou seja, quanto mais as águas se tornaram alcalinas, maior é o pH.

Nos episódios de precipitação concentrada ou logo após, a vazão do rio aumenta e aumenta também o coeficiente de diluição, o que faz com que o pH e alcalinidade diminuam, no entanto a precipitação também desencadeou os processos erosivos.

Assim, as águas do Rio Capivari apresentam um caráter mais alcalino e com pH mais elevado quando em regime de vazão de estiagem. Em regimes de chuvas mais fortes e conseqüentes aumento da vazão, a turbidez se eleva e também a cor. Este fato evidencia a diminuição relativa da contribuição do Aquífero Carste durante os períodos de maior vazão, uma vez que a vazão do rio Capivari mostrou-se fortemente dependente da precipitação, apesar do fator regulatório sobre a vazão exercido pelo aquífero carste.

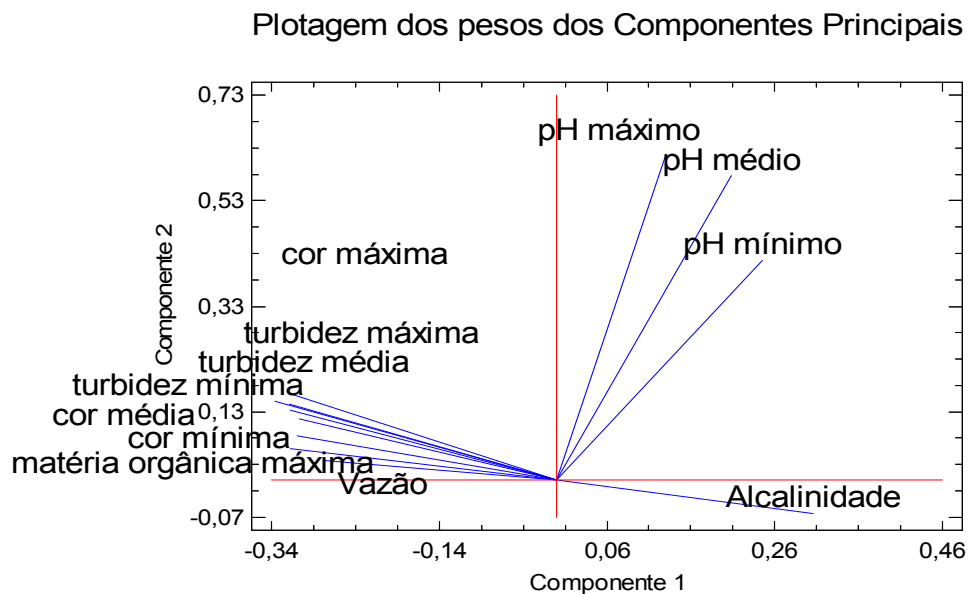


Figura 2 – Plotagem dos pesos dos componentes

CONCLUSÕES

As águas do Rio Capivari apresentam um caráter mais alcalino e com pH mais elevado quando em regime de vazão de estiagem. Para esta bacia, a turbidez, cor, matéria orgânica e vazão estão fortemente relacionadas, o que evidencia que a precipitação desencadeia o aumento de vazão e também os processos erosivos com aporte de matéria sólida e de matéria orgânica ao sistema fluvial.

No período amostrado a cor, turbidez e matéria orgânica atingiram valores extremamente elevadas, denotando uma grande fragilidade ambiental na bacia face aos eventos de precipitação apesar dos múltiplos fragmentos florestais secundários presentes na área.

A falta de floresta ciliar, estradas que se localizam ao lado dos rios, solos descobertos pela exploração da mineração e pela horticultura e silvicultura (manejo e corte de bracatinga) são pontos a serem estudados para tentar reverter este quadro de degradação dos solos e diminuição da qualidade de água.

A amostragem de qualidade de água na bacia deve ser feita com alta frequência e, especialmente, em períodos de alta e baixa precipitação, devido à forte alteração da qualidade de água com a alteração da vazão.

BIBLIOGRAFIA

- CHAPMAN, D; KIMSTACK, V. 1992. The selection of water quality variables In: CHAPMAN, D (ed). **Water Quality Assessment**. London, Chapman & Hall Ltd., 51-117.
- BITTENCOURT, A. V. L.; HINDI, E.C. 2000. **Tópicos de hidroquímica** In: 3er Curso Sudamericano sobre Evaluación y Vulnerabilidad de Acuíferos. Asunción, Itaipú binacional / OEA.
- BRANCO, S. M., ROCHA, A. **Elementos de Ciências do Ambiente**. 13. ed. São Paulo: CETESB / ASCETESB, 1987.
- CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. “*Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005*”. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Diário Oficial da União, n.53, seção 1, pp. 58-63.
- FRITZSONS, E. 2003. Avaliação temporal da qualidade de água como diagnóstico do uso e ocupação das terras na bacia do Alto Capivari, região cárstica curitibana – Pr. Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, **Tese** de Doutorado. 190 p.
- FRITZSONS, E. HINDI, E. C. MANTOVANI, L. E. RIZZI, N. E. 2004. As alterações da qualidade de água do Rio Capivari com o deflúvio: um instrumento de diagnóstico de qualidade ambiental. Engenharia Sanitária e Ambiental. Rio de Janeiro, **ABES**, 9 (1): 239-248.
- MAACK, R. 1981. **Geografia física do Estado do Paraná**. 2. ed. Rio de Janeiro, J. Olympio. 450p.
- MOITA NETO, J. M.; MOITA, G. C. (1998) “*Uma introdução à análise exploratória de dados multivariados*”. Quím. Nova [online]. 467-469(21-4), pp. 467-469.
- SOUZA, ENIO REZENDE DE. **Alterações físico-químicas no deflúvio de três sub-bacias hidrográficas decorrentes da atividade agrícola**. Lavras. 1996. 91p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal). Lavras: UFLA.
- SUDERHSA **Qualidade das águas interiores do Estado do Paraná - 1987-1995**. Curitiba: SUDERHSA. 1997.