

INFLUÊNCIA DA DENSIDADE POPULACIONAL NAS RELAÇÕES ENTRE MATÉRIA ORGÂNICA CARBONÁCEA, NITROGÊNIO E FÓSFORO EM RIOS URBANOS SITUADOS EM ÁREAS COM BAIXA COBERTURA SANITÁRIA

INFLUENCE OF THE URBAN DENSITY IN THE RELATIONSHIP AMONG CARBONIC ORGANIC MATTER, NITROGEN AND PHOSPHOROUS IN SMALL RIVERS WITH LOW SANITATION COVERAGE

HARRY ALBERTO BOLLMANN

Engenheiro Civil (PUCPR). Mestre em Hidráulica e Saneamento (EESC/USP). Doutor em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental (UFRGS). Professor Adjunto do Curso de Engenharia Ambiental e do Mestrado em Gestão Urbana (PUCPR)

DAVID M.L. DA MOTTA MARQUES

Licenciatura em Ciências (PUCRS). Mestre em Ecologia (UFRGS). Doutorado em Engenharia Ambiental (Imperial College). Professor Adjunto do Curso de Engenharia Civil e do Instituto de Pesquisas Hidráulicas (UFRGS)

Recebido: 20/04/06 Aceito: 16/08/06

RESUMO

O objetivo principal deste trabalho é a análise da variação da relação entre a matéria orgânica carbonácea (representada pelas Demandas Biológica e Bioquímica de Oxigênio), Nitrogênio Total Kjeldhal e Fósforo Total nas águas de pequenos rios urbanos cujas áreas de drenagem apresentem baixa cobertura sanitária. Para isso, foram selecionadas 4 bacias hidrográficas urbanas com ocupação residencial, densidade populacional entre 0 e 100 hab/ha e similaridade de condições naturais de ocupação humana. Os resultados mostraram alterações importantes nas relações entre os conteúdos de matéria orgânica carbonácea, Nitrogênio e Fósforo indicando que, a partir de uma condição natural não urbanizada, mesmo pequenas densidades populacionais são capazes de alterar significativamente a qualidade das águas.

PALAVRAS-CHAVE: Qualidade das águas, rios urbanos, poluição.

ABSTRACT

The purpose of this study is to evaluate the relationship among the carbonic organic matter (measured as Chemical and Biological Oxygen Demand), Total Kjeldhal Nitrogen and Total Phosphorous in small urban rivers with low sanitation coverage in its hydrographic basins. Four basins with similar natural condition and residential occupation but variable urban densities between 0 and 100 inhabitants per hectare were selected. The results show important changes in the carbonic organic matter, Nitrogen and Phosphorous relationships indicating that, compared with a natural condition, even low urban densities can significantly change de water quality.

KEYWORDS: Water quality; urban rivers, pollution.

INTRODUÇÃO

Já há algum tempo as pesquisas que procuram observar as consequências da ocupação do espaço pelo homem associam a urbanização à poluição dos corpos d'água devido aos esgotos domésticos, não ou parcialmente tratados, além dos despejos industriais. Mais recentemente, além destes, percebeu-se que parte dessa poluição gerada em áreas urbanas tem origem também no escoamento superficial das águas de chuva sobre áreas impermeáveis e em redes de drenagem.

Os resultados apresentados na literatura demonstram que a qualidade das águas pluviais não é melhor que o efluente de um sistema de tratamento secundário de esgotos domésticos, e depende de vários fatores: limpeza urbana e sua frequência, intensidade da precipitação e sua distribuição temporal e espacial, da época do ano e do tipo de uso da área urbana (Tucci, 1995).

O escoamento das águas de chuva carrega materiais orgânicos e inorgânicos em suspensão ou solúveis aos mananciais, aumentando significativamente sua carga de poluentes. A

origem destes poluentes é diversificada, e contribuem para seu aparecimento a abrasão e o desgaste das vias públicas pelo tráfego veicular, o lixo acumulado nas ruas e calçadas, os resíduos orgânicos de pássaros e animais domésticos, as atividades de construção, resíduos de combustível, óleos e graxas automotivos, poluentes atmosféricos etc.

Dentre os principais poluentes citados encontram-se a matéria orgânica, microrganismos, os metais pesados, hidrocarbonetos provenientes de petróleo, produtos tóxicos como pesticidas e os poluentes do ar depositados sobre

as superfícies urbanizadas. Sartor et al. (1972) citados em Weeks (1981) identificaram as principais fontes de poluição oriundas de superfícies impermeáveis. Estão incluídas as contaminações de materiais de pavimentação de vias, veículos automotores (vazamento de combustíveis, lubrificantes, fluidos hidráulicos, finas partículas do desgaste de pneus, forros quebrados, emissão de descarga, lama, ferrugem, componentes quebrados por vibrações ou impacto), vegetação (folhas, pólen, casca de árvores, galhos, sementes, frutas, gramináceas), lixo (materiais de embalagem, entulho de plantas, restos de comida, resíduos de animais e pássaros), poeira, areia, cascalho, produtos agrícolas e de petróleo. Acrescente-se a isso os sedimentos provenientes de locais em construção e os efluentes de sistemas sépticos defeituosos ou inoperantes. Além destes, a erosão de canais abertos de drenagem e diques, além de outros materiais depositados nos drenos podem ser significativamente aumentados pela urbanização.

Wiebl et al. (1964), Soderland et al. (1973) e Whipple et al. (1974), também citados em Weeks (1981) compararam a carga de poluentes contida nas águas de drenagem pluvial com aquela presente nos esgotos. Foram encontrados no escoamento superficial até vinte vezes a quantidade de resíduos não filtráveis, duas vezes a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e 15% do fósforo e nitrogênio obtidos no esgoto tratado. Também observaram relativamente ao esgoto bruto, uma quantidade superior de DBO, Fósforo e Nitrogênio Totais além de Sólidos Suspensos, variando entre 6 e 11%. Supondo que todo o esgoto seja submetido ao tratamento secundário, estimam estes autores que a poluição difusa pode responder por cerca de metade da carga contaminante nos córregos.

A magnitude do impacto causado destes e de outros resíduos da urbanização depende de fatores como o estado do corpo d'água antes do lançamento, sua capacidade assimilativa, e ainda, da quantidade e distribuição das chuvas, uso do solo na bacia, tipo e quantidade de poluentes arrastados. Para Porto (1995), os problemas causados podem ser subdivididos em seis grandes categorias: alterações estéticas, depósitos de sedimentos, depleção da concentração de oxigênio dissolvido, contaminação por organismos patogênicos, eutrofização e danos devido à presença de tóxicos.

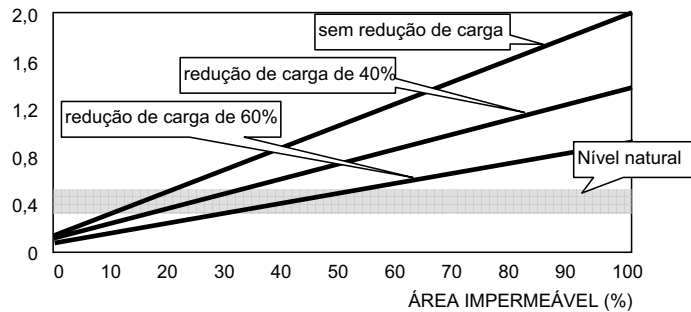
Whipple et al. (*op.cit.*), também observaram que a poluição do escoamento superficial varia menos com a área da bacia, sendo função sobretudo da concentração das atividades de comércio, indústria e habitação. Ademais, a quantidade e a natureza do lixo de rua variam com o uso do solo, população, intensidade de tráfego, dentre outros fatores. Indústria, comércio e residências, nesta ordem, apresentam as mais altas cargas contribuintes de contaminação. Enfatiza, no entanto, que o significado da poluição urbana difusa deve ser determinado no contexto de condições localizadas, não sendo um fenômeno amplo ou completamente generalizável.

Para Freedman e Dilks (1996), os impactos do escoamento superficial nos corpos d'água dependem das características da bacia, do volume escoado, do tamanho e da natureza do manancial receptor além do seu uso previsto. A ocupação do solo e o tipo de uso determinam os contaminantes presentes, e a capacidade de assimilação das cargas poluentes é definida sobretudo pelo tamanho e tipo do recurso hídrico de destino. Isso sugere que a avaliação de impactos seja promovida no âmbito das

características próprias de cada local. Em bacias com ocupação predominantemente urbana, o enriquecimento por nutrientes é uma das principais causas de degradação da água. Estimula o crescimento de algas ou plantas aquáticas que poderão desequilibrar a oferta de oxigênio dissolvido, reduzindo a diversidade biológica e prejudicando o uso para o abastecimento. A estimativa da carga de nutrientes oferece um indicativo do grau de medidas de controle a ser adotadas sobre as águas de drenagem, por sua maior ou menor participação no aporte global. Schueler e Herson-Jones (1995) apresentam o efeito da cobertura impermeável da área drenagem de uma bacia em relação ao aporte anual de Fósforo e Nitrogênio (Figuras 1 e 2, respectivamente).

Os autores complementam esta relação apresentando níveis normais destes nutrientes em condições naturais (bacias não ocupadas) e estabelecem indicativos de variação destas cargas considerando a adoção de medidas estruturais de controle. A estimativa de 40% de redução da carga anual de Nitrogênio e Fósforo foi adotada como limite na adoção de medidas de baixo impacto sobre o controle da carga dos

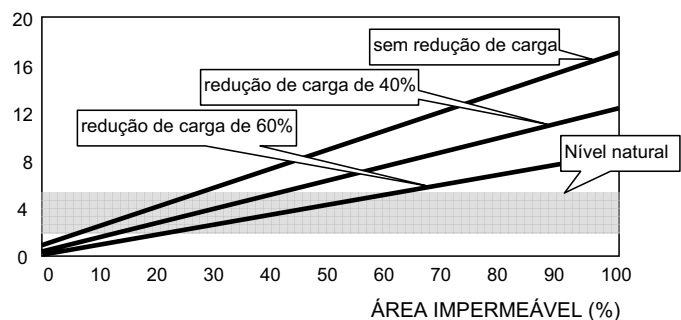
CARGA ANUAL DE P (lbs/ac/ano)



Fonte: Schueler e Herson-Jones (1995)

Figura 1 - Efeito da área impermeável na carga de fósforo dos rios

CARGA ANUAL DE N (lbs/ac/ano)



Fonte: Schueler e Herson-Jones (1995)

Figura 2 - Efeito da área impermeável na carga de nitrogênio dos rios

nutrientes, por meio de boas práticas de manejo ambiental. Para a adoção de medidas consideradas de alto impacto, os autores estabeleceram um cenário limite de 60% de redução da carga total anual. Observa-se que os valores máximos ideais de impermeabilização do solo situam-se abaixo de 40% em um cenário de adoção de medidas de controle de baixo impacto, tendo em vista a manutenção da concentração destes elementos dentro da faixa natural estabelecida.

Apesar da abundância de textos disponibilizados na literatura que procuram medir quantitativamente a concentração de matéria orgânica carbonácea, Nitrogênio e Fósforo nos rios urbanos, relativamente pouca atenção tem sido dedicada às relações entre estas concentrações e a densidade populacional da área de drenagem correspondente.

Para este estudo específico, escolheram-se bacias hidrográficas de ocupação urbana predominantemente residencial com baixa cobertura sanitária, e que apresentassem como única diferença entre elas a densidade populacional. As demais características referentes à tipologia da ocupação do solo, bem como aos aspectos naturais que poderiam interferir na qualidade das águas, foram testados quanto à sua semelhança e considerados semelhantes.

Não se pretende esgotar aqui as possibilidades de análise, mas espera-se que os resultados até o momento obtidos possam instigar novas pesquisas que permitam ampliar, em uma mais larga circunstância, o conhecimento das verdadeiras transformações que os rios urbanos sofrem ao receberem, em suas águas, os resíduos provenientes das atividades humanas.

METODOLOGIA

A seleção das bacias hidrográficas, bem como dos pontos amostrais, baseou-se no conhecimento prévio da região em estudo (Região Metropolitana de Porto Alegre, RS) e no reconhecimento visual dos critérios de ocupação (predominantemente residencial), tamanho apropriado para garantir homogeneidade de características terrestres, níveis distintos de densidade populacional (entre 0 e 100 hab/ha), acessibilidade aos pontos de coleta de amostras, e que os manan-

ciais superficiais tenham acompanhamento da qualidade das suas águas.

A bacia do Arroio Agronomia (Figura 3) foi escolhida por apresentar um braço de rio relativamente intocado com boa qualidade em relação a parâmetros físico-químicos (denominado de CO1) e ocupação urbana praticamente inexistente. Por esta razão, esta bacia foi considerada como referência regional para a qualidade das águas. Em contraposição, as bacias dos Arroios Moinho (MO1) e Mãe d'Água (MD1) apresentam densidades demográficas territoriais mais elevadas, próximas ao limite superior pretendido de 100 hab/ha (Figuras 4 e 5, respectivamente). Entre estes extremos, a bacia hidrográfica do arroio Capivara apresenta (Figura 6), próximo às nascentes, uma ocupação menos densa com características suburbanas ou semi-rurais (CP1), enquanto que na sua porção mais próxima à foz, o uso do solo para fins urbanos é mais intenso (CP2). As três primeiras fazem parte da bacia hidrográfica do Arroio Dilúvio, e a última, situa-se mais ao sul, como tributária do Rio Guaíba no Balneário de Ipanema.

As informações geográficas das áreas de drenagem das bacias e sub-bacias consideradas foram obtidas da

análise de mapas plani-altimétricos em escala 1:20.000 (curvas de nível de 20 em 20 metros) e 1:5.000 (curvas de nível de 1 em 1 metro) adquiridos junto à Secretaria Municipal de Obras Públicas da Prefeitura de Porto Alegre (SMOP/PMPA). Foram também usadas imagens SPOT P/B com resolução de 10x10 metros e LANDSAT 5 bandas 3-4-5 com resolução de 30x30 metros.

Para a estimativa da concentração de Carbono, Nitrogênio e Fósforo, nas águas dos corpos d'água das bacias consideradas, foram selecionados as variáveis apresentadas na Tabela 1.

Os procedimentos de coleta e preservação das amostras, bem como de determinação laboratorial seguiram as orientações constantes no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, AWWA e WEF, 1995). Durante todo o período no qual foram coletados os dados experimentais, materializado em 26 campanhas amostrais, procurou-se observar estritamente as recomendações de coleta, de preservação e de transporte das amostras ao laboratório, assim como aos procedimentos analíticos de determinação laboratorial das variáveis físico-químicas.

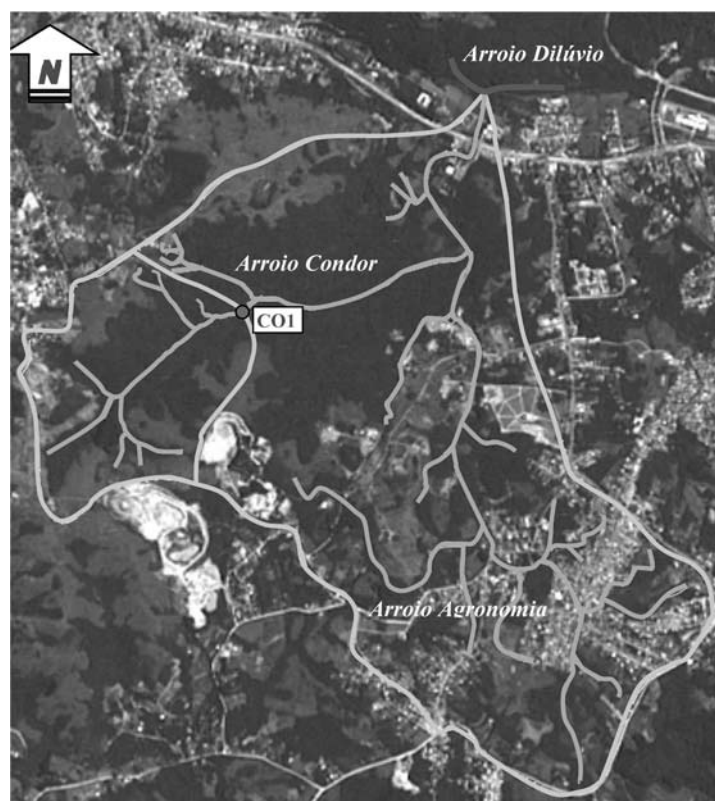


Figura 3 – Bacia hidrográfica do arroio agronomia



Figura 4 – Bacia hidrográfica do arroio moinho



Figura 5 – Bacia hidrográfica do arroio mãe d'água

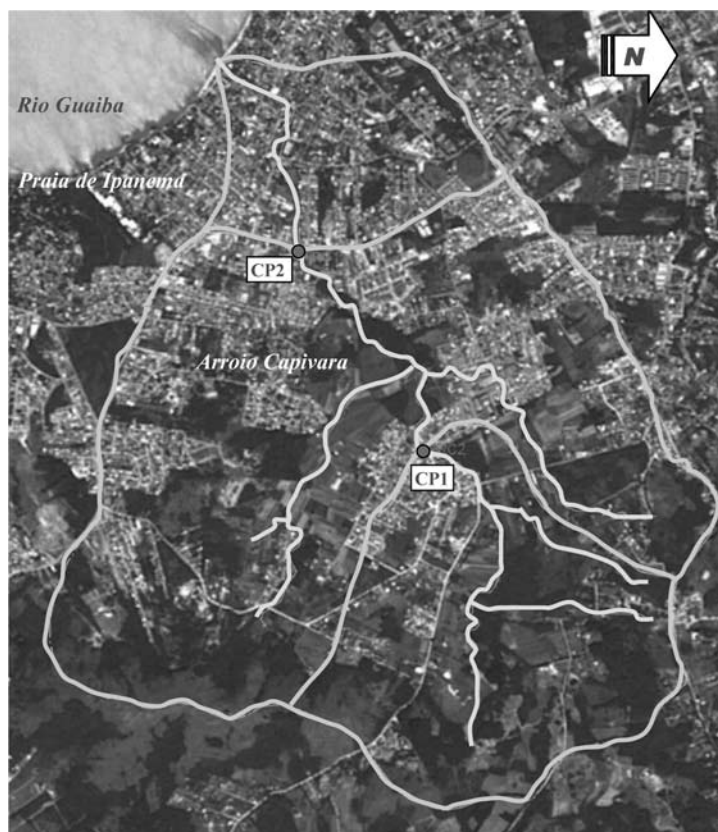


Figura 6 – Bacia hidrográfica do arroio Capivara

Tabela 1 – Variáveis de qualidade das águas selecionadas

Variáveis	Unidade
Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)	(mg/L)
Demanda Química de Oxigênio (DQO)	(mg/L)
Fósforo Total (PTOT)	(mg/L)
Nitrogênio Total Kjeldhal (NTK)	(mg/L)

Para testar a semelhança entre as bacias estudadas, foram levantadas suas características morfométricas bem como as características naturais de solo e formações florestais (Tabela 2).

Os dados sócio-econômicos referentes à população assentada basearam-se nos setores censitários pertencentes a cada área de drenagem considerada, obtidos junto ao IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (Tabela 3).

A análise de semelhança estatística entre as bacias hidrográficas foi feita com base nos Dendrogramas de Similaridade das condições naturais das áreas de drenagem contribuintes aos pontos amostrais, e de condição sócio-econômica da população assentada. Para estas análises, foi usado o pacote estatístico GENSTAT 5 Release 3.2 – 1995.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na mensuração da semelhança entre as populações, dentro das possibilidades da análise multivariada, pode-se imaginar um espaço n – dimensional onde cada uma das variáveis representa uma dimensão analítica. Nesse contexto, as populações de cada área de drenagem das diversas bacias formariam uma “nuvem de pontos” em um espaço euclidiano multidimensional, cuja distância entre os pares de pontos corresponderia ao grau de similaridade ou proximidade entre eles (Paine, 1993, citado em Genstat, 1994).

Para um grupo de muitos pontos, para muitas dimensões analíticas, ou ambos, a visualização gráfica das similaridades obtidas é difícil, senão

impossível. Nestes casos, os métodos de agrupamento hierárquicos possibilitam a visualização desta similaridade de várias formas. Dentre as mais usadas, o Dendrograma de Similaridade representa graficamente o grau de associação entre dois ou mais pontos por meio da determinação do Coeficiente de Similaridade cujos valores variam entre zero e a unidade (ou 0 a 100%). O valor zero ocorre quando dois pontos diferem ao máximo para todas as variáveis consideradas, e o valor unitário ocorre quando todas as variáveis tiverem valores idênticos.

A Figura 7 apresenta o Dendrograma de Similaridade obtido considerando as variáveis sócio-econômicas da Tabela 3.

O Dendrograma mostra o grau de similaridade (entre 0 e 100%) entre

Tabela 2 – Características Naturais das Bacias Hidrográficas

Variáveis	Unidade
Área total	(km ²)
Perímetro	(km)
Comprimento Axial	(km)
Coefficiente de Compacidade	(-)
Fator de Forma	(-)
Declividade Média	(m/m)
Declividade Mediana	(m/m)
Comprimento Total dos Cursos d'Água	(km)
Comprimento do Talvegue Principal	(km)
Ordem dos Cursos d'Água	(-)
Densidade de Drenagem	(km/km ²)
Extensão Média do Escoamento Superficial	(km)
Sinuosidade	(-)
Porcentagem da Área por Tipo de Solo	(%)
Porcentagem da Área por Tipo de Formação Florestal	(%)

Tabela 3 – Variáveis sócio-econômicas da população assentada nas áreas de drenagem contribuintes aos pontos amostrais

Variáveis	Informações
1. Domicílios	Total de Domicílios Particulares Permanentes
	Total de Domicílios Particulares
	Total de Domicílios
	Total de Casas
	Total de Apartamentos
	Condição da Ocupação (Próprio, Alugado ou Cedido)
	Total de Cômodos
	Total de Dormitórios
	Total de Banheiros
	Relação Cômodos/Domicílio
	Relação Dormitórios/Domicílio
	Relação Banheiros/Domicílio
	2. População
População Total em Domicílios Improvisados	
Total de Chefes em Domicílios Permanentes	
Relação Pessoas/Domicílio	
3. Infra-estrutura	Domicílios com Abastecimento de Água
	Domicílios com Instalação Interna
	Domicílios sem Instalação Interna
	Domicílios com Sistema de Esgotos Sanitários
	Destino do Lixo
4. Renda	Chefes de Família por Faixa de Renda
	Renda Média dos Chefes de família
5. Educação	Chefes de Família por Faixa de Instrução
	Anos de Estudo Médio dos Chefes de família

os elementos analisados. Na Figura 7, observa-se que as características das populações assentadas nas áreas contribuintes aos pontos amostrais CP1 e CP2 apresentaram o maior grau de similaridade (são 77% semelhantes). Já a população assentada na área contribuinte ao ponto amostral MN1 é 75% semelhante ao grupo formado pelos pontos CP1 e CP2. Da mesma forma, a população assentada em MD1 é cerca de 73% similar ao grupo formado pelos pontos CP1, CP2 e MN1. Os dados ainda mostram que a população assentada nas áreas de drenagem contribuintes aos pontos CP1, CP2, MN1 e MD1 é, em termos gerais, 69% semelhante ao ponto CO1. Como era de se esperar, o ponto CO1 no Arroio Agronomia (ocupação urbana praticamente inexistente) demonstrou a maior discrepância em razão de não apresentar os serviços públicos de infra-estrutura sanitária presentes nas demais bacias estudadas. Os fatores que mais afetaram esta homogeneidade são os ligados à educação formal e a renda.

Além da homogeneidade populacional, para garantir que a Densidade Popuacional seja o fator mais importante neste modelo experimental, necessário se faz a escolha de bacias hidrográficas com características naturais igualmente semelhantes. A rigor, em função da variabilidade das características naturais locais e das particularidades dos fatores que influenciam na qualidade das águas, a igualdade entre bacias é inexistente restando a possibilidade da estimativa do grau de semelhança ou similaridade. Beltrame (1994) e Christofletti (1980) indicam os principais fatores naturais que podem causar degradação física em bacias hidrográficas e, por conseguinte, alterações na qualidade das suas águas como sendo o clima, a tipologia de solos, o relevo e a vegetação.

O Dendrograma de Similaridade (Figura 8) obtido quando se consideram os fatores do relevo, solos e vegetação da Tabela 2 mostra uma razoável similaridade entre todas as áreas de drenagem (68%), sendo que o grupo formado pelos pontos MD1, CP1 e CP2 são os que mais se assemelham entre si (similaridade maior que 80%).

Unesco (1987) especifica uma escala normalizada (entre zero e a unidade) para avaliações ecológicas e sócio-econômicas integradas. A escala foi dividida em três regiões, e quando convertida em valores percentuais

de similaridade apresenta a seguinte classificação: de 1,0 a 30,0 % - não semelhante; de 30,0 % a 60,0 % semelhança aceitável; de 60,0 a 100,0 % - semelhante. Ramirez (1988) estabelece uma escala normalizada de semelhança entre fatores ambientais baseada em cinco classes (Tabela 4), adotada por Beltrame (1994) para diagnósticos do meio físico de bacias hidrográficas.

Pelo critério da Tabela 4, as áreas de drenagem contribuintes aos pontos amostrais considerados são SEMELHANTES para as variáveis de relevo, solos e vegetação (índice de similaridade de 68 %), e as populações assentadas nas áreas de drenagem consideradas são também classificadas como SEMELHANTES para as variáveis sócio-

econômicas de condição da moradia, saneamento básico, renda e educação (similaridade de 69 %).

Os resultados mostram que há diferenças morfométricas, pedológicas e de vegetação, além de características sócio-econômicas da população entre as áreas selecionadas, mas que os índices de similaridade obtidos apresentaram razoável semelhança. Com isso, espera-se que as diferenças encontradas na qualidade das águas monitorada nos pontos amostrais sejam creditadas principalmente à intensidade da ocupação urbana das bacias monitoradas.

Vários autores, entre eles Digiano et al. (1975), e Schueler e Herson-Jones (1995), têm observado o enriquecimento das águas dos rios com matéria

Similaridade

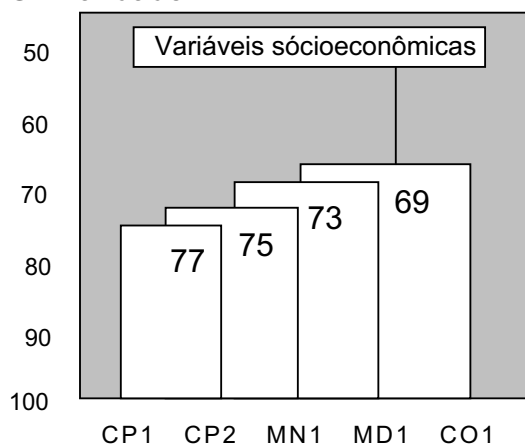


Figura 7 – Dendrograma de similaridade das características de moradia, infra-estrutura sanitária, renda e educação da população assentada nas áreas contribuintes aos pontos amostrais

Similaridade

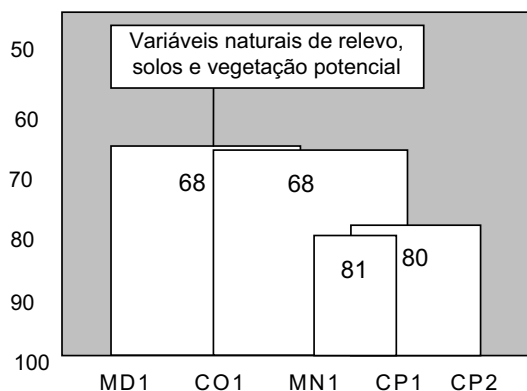


Figura 8 – Dendrograma de similaridade para o conjunto dos fatores naturais

Tabela 4 – Níveis de semelhança de condições ambientais

Grau de semelhança	Níveis
1 – 20 %	Nenhuma semelhança
21 – 40 %	Baixa semelhança
41 – 60 %	Medianamente semelhante
61 – 80 %	Semelhante
81 – 100 %	Altamente semelhante

Fonte: Ramirez (1998)

orgânica carbonácea e macro-nutrientes orgânicos provindos dos esgotos domésticos não ou parcialmente tratados. Estes autores têm afirmado que as concentrações de DBO em rios urbanos é superior às encontradas em rios de bacias de uso agrícola ou preservadas.

A relação entre a matéria orgânica carbonácea presente (representada pela DBO e DQO) e os macro-nutrientes (NTK e PTOT) está apresentada na Tabela 5 e na Figura 9. Os valores apresentados representam a mediana da série histórica de 26 campanhas amostrais obtidas quinzenalmente em cada um dos pontos amostrais.

Observa-se tanto pelos valores da Tabela 5 quanto pelos gráficos da Figura 9 que existe uma condição diferenciada entre o ponto amostral considerado como referencial de qualidade (CO1) e os demais. A relação entre DBO e DQO neste ponto (0,02) indica que a fração biodegradável da matéria orgânica é de apenas 2%, e o restante se constitui de compostos orgânicos não facilmente degradados pelos microrganismos aeróbios decompositores. Esta relação passa para aproximadamente 0,5 nos demais pontos amostrais, não demonstrando

alteração do seu valor com a densidade populacional, observando-se a faixa de variação estudada. Valores próximos a 0,5 para a relação DBO : DQO podem ser esperados para mananciais que recebem esgotos oriundos de várias fontes (doméstica, comercial e industrial) que potencialmente contribuem tanto com compostos biodegradáveis quanto com uma parcela de compostos orgânicos de difícil degradação biológica. Valores da ordem de 0,8 implicam na existência de uma parcela preponderantemente biodegradável e, portanto, são mais característicos de mananciais que recebem quase que exclusivamente esgotos domésticos.

Uma relação entre Nitrogênio e Fósforo Totais (Figura 9 d) normalmente encontrada em esgotos domésticos (Branco, 1978) situa-se próximo de 6 : 1. Os valores observados para as bacias monitoradas (exceção da bacia referencial) estão próximos desta relação. Observa-se que, na Tabela 5, não se consideraram as formas oxidadas de nitrogênio (Nitritos e Nitratos), que juntas podem representar um acréscimo na concentração de Nitrogênio Total Kjeldhal.

As relações entre DBO e Nitrogênio (Figura 9 b), bem como entre a

DBO e Fósforo (Figura 9 c) apresentam valores inferiores àqueles normalmente encontrados para esgotos domésticos (17 : 1 e 90 : 1 para DBO : N e DBO : P, respectivamente). Mesmo considerando que os dados obtidos não se referem aos efluentes de esgotos, mas ao manancial receptor, os resultados observados demonstram que há quantidades suficientes de Nitrogênio e Fósforo para que não haja limitação ao crescimento de algas fotossintetizantes. Ainda que este efeito não seja sentido no âmbito das bacias hidrográficas monitoradas (em razão do seu pequeno tamanho, regime hídrico e rápida exportação dos nutrientes), seguramente os mananciais receptores de suas águas, de algum modo, serão afetados.

CONCLUSÕES

O modelo experimental da comparação simultânea de bacias hidrográficas que apresentem graus de densidade populacional crescente em suas áreas de drenagem parece ser adequado para observar os efeitos da urbanização na qualidade das águas superficiais. No entanto, apesar dos valores dos coeficientes observados indicarem uma similaridade de 68% das condições naturais (morfologia, vegetação potencial e solos) e 72% de semelhança das condições de moradia, infra-estrutura sanitária, renda e educação das populações, não se pode garantir que as variáveis naturais e sócio-econômicas não sejam importantes para explicar a variabilidade da qualidade das águas nas bacias hidrográficas monitoradas. Também não se pode dizer que sejam determinantes. O que se pode afirmar é que, devido às particularidades dos

Tabela 5 – Relação entre DBO, DQO, NTK e PTOT

Ponto amostral	CO1	CP1	CP2	MN1	MD1
Densidade populacional (hab/ha)	1,6	7,6	33,4	71,9	73,0
Área urbanizada (%)	0	37	52	65	92
Área impermeabilizada (%)	0	8	19	33	38
DBO : DQO	0,02	0,4	0,6	0,4	0,5
NTK : PTOT	2,5	6,7	8,4	8,7	7,9
DBO : NTK	0,2	2,6	2,7	2,2	2,2
DBO : PTOT	0,5	17,4	22,7	19,2	17,3
DQO : NTK	8,0	6,4	4,6	5,0	4,5
DQO : PTOT	14,0	43,5	39,1	43,1	37,1

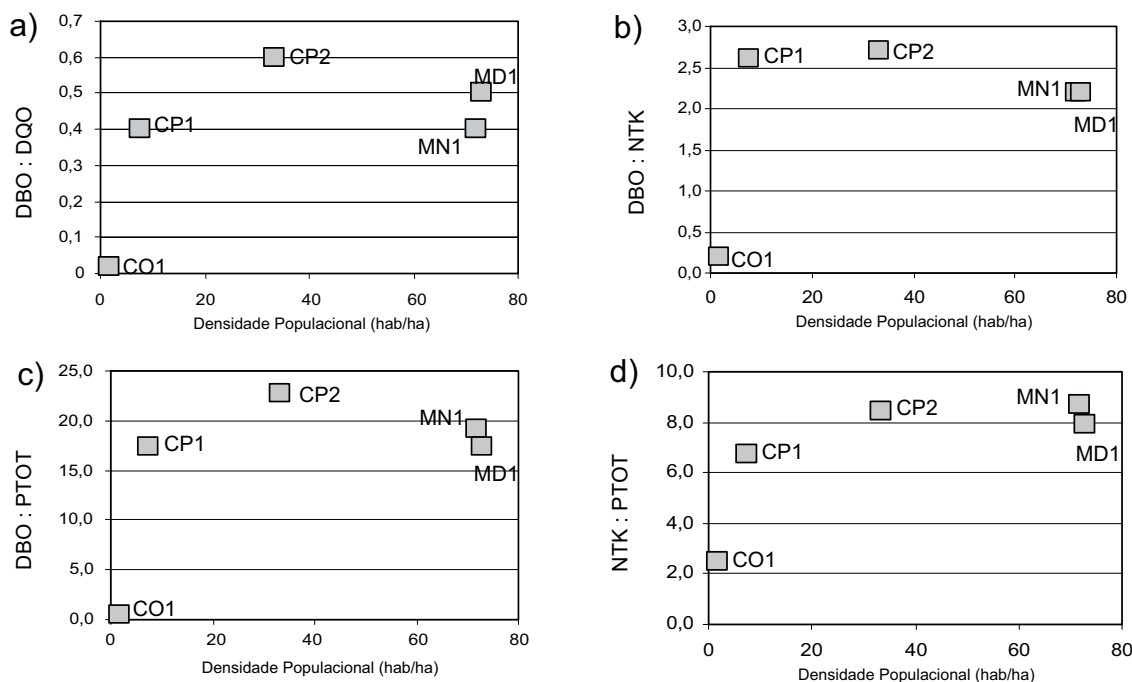


Figura 9 – Gráficos da variação da densidade populacional com a relação entre: a) DBO e DQO; b) DBO e NTK; c) DBO e PTOT; d) NTK e PTOT

fatores intervenientes na qualidade das águas que podem ser observados em cada bacia hidrográfica, e às suas complexas inter-relações, é praticamente impossível encontrar-se bacias hidrográficas semelhantes a ponto de garantir que a ocupação urbana seja o único elemento responsável. Nestes termos, para o estabelecimento de relações entre variáveis de ocupação antrópica do solo com a qualidade das águas superficiais, recomenda-se a aplicação de técnicas oriundas da análise multivariada para a verificação da similaridade dos fatores interferentes não modelados. Recomenda-se também que, nestes casos, a escolha das bacias hidrográficas recaia sobre as que apresentarem maior similaridade, minimizando a interferência causada por estes fatores de variabilidade.

As áreas de drenagem contribuintes aos pontos amostrais escolhidos nas bacias hidrográficas dos arroios Capivaras (CP1 e CP2), Moinho (MN1) e Mãe d'Água (MD1) apresentam padrões de uso do solo compatíveis com a ocupação urbana, com densidades populacionais variantes entre 7,6 e 73 hab/ha (baixa a média) e baixo atendimento da população sob o ponto de vista da infra-estrutura sanitária de coleta e tratamento de resíduos domésticos. Esta deficiência impõe à população o

uso de tecnologias de disposição local de esgotos sanitários e resíduos sólidos que interferem, direta ou indiretamente, na qualidade das águas e na relação entre variáveis como as apresentadas neste trabalho. O ponto amostral situado em um tributário do Arroio Agronomia (CO1), constitui-se em uma bacia referencial em razão do grau de preservação das condições naturais (densidade populacional estimada de 1,6 hab/ha) e da ocupação meramente residual. Por esta razão, era de se esperar que apresentasse valores diferenciados em relação aos demais.

Em razão da baixa cobertura sanitária da população assentada nas áreas de drenagem contribuintes aos pontos amostrais monitorados, principalmente pela insignificante parcela da população atendida por rede de coleta e tratamento de esgotos, observou-se uma relação direta entre a densidade populacional e a presença de esgotos não tratados nos corpos d'água receptores. Como consequência, observaram-se alterações quantitativas importantes na relação entre os macro-nutrientes orgânicos escolhidos para o monitoramento da qualidade das águas dos rios urbanos quando comparadas com a condição referencial (DBO, DQO, NTK e PTOT). Estas relações foram tão mais próximas daquelas observadas na litera-

tura para os esgotos sanitários quanto maior a densidade populacional.

A forma logarítmica mostrada nos gráficos de correlação entre a densidade populacional e as relações DBO:DQO, DBO:NTK, DBO:PTOT e NTK:PTOT indica que, a partir de uma condição natural não urbanizada (referencial), mesmo pequenas densidades populacionais são capazes de alterar significativamente a relação com estas variáveis. Indica também um ponto de saturação a partir do qual o aumento da densidade populacional não mais influencia significativamente nesta relação. Uma vez que a tendência logarítmica foi observada a partir de apenas 5 pontos, recomenda-se a aplicação desta metodologia a outros estudos de caso de maneira a aumentar o número de pontos disponíveis e melhor explicitar a tendência dos dados.

AGRADECIMENTOS

Ao Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Ao CNPq/MCT que, por meio do Programa PRONEX, financiou o projeto de estudos, gerando os dados físico-químicos necessários ao desenvolvimento deste trabalho.

REFERÊNCIAS

- APHA; AWWA e WEF. *Standard Methods for the Evaluation of water and wastewater*. 19th Ed., Washington D.C., USA, 1106p. 1995.
- BELTRAME, A.V. *Diagnóstico do meio físico de bacias hidrográficas: modelo e aplicação*. Ed. da UFSC, Florianópolis, SC, 112p. 1994.
- BRANCO, S.M. *Hidrobiologia aplicada à engenharia sanitária*. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, São Paulo, 620p. 1978.
- CHRISTOFOLETTI, A. *Geomorfologia*. 2. Edição, Edgard Blucher, São Paulo, 188p. 1980.
- DIGIANO, F.A. et al. *A protection of pollutional effects of urban runoff in the Green River, Massachusetts*. In: Urbanization and Water Quality Control (William Whipple Jr. Org.) Anais da American Water Resources Association, Proc. 20, p.(28-37) 1975.
- FREEDMAN, P.L.; DILKS, D.W. *Receiving water impacts*. In: The Control and Treatment of Industrial and Municipal Stormwater. Ed. By Peter E. Moffa, New York, USA, 1996.
- GENSTAT. *Genstat 5 Release 3: Reference Manual*. Genstat 5 Committee (PAYNE, R.W. Chairman). Lawes Agricultural Trust. Clarendon Press, Oxford, UK, 796p. 1994.
- PORTO, M.F.A. *Aspectos qualitativos do escoamento superficial em áreas urbanas*. In: TUCCI, C.E.M.; PORTO, R.L.L. e BARROS, M.T. Drenagem Urbana. UFRGS Ed. da Universidade/ABRH, Porto Alegre, 1995, p.(387-428) 1995.
- RAMIREZ, P.H. *Metodologia do diagnóstico físico conservacionista em bacias hidrográficas*. Apostila n.3, Curso: Manejo Conservacionista de Bacias Hidrográficas. CIDIAT /SUDESUL, Projeto Itajaí, Outubro, 28p. 1998b.
- SCHUELER, T. e HERSON-JONES, L. *Site planning for urban stream protection*. US Environmental Protection Agency, Washington, D.C., 232p. 1995.
- TUCCI, C.E.M. *Inundações urbanas*. In: TUCCI, C.E.M.; PORTO, R.L.L. e BARROS, M.T. Drenagem Urbana. UFRGS Ed. da Universidade/ABRH, Porto Alegre, p.(15-36) 1995.
- UNESCO. *Methodological guidelines for the integrated environmental evaluation of water resources development*. Projeto FP/5201-85-01/UNEP - United Nations Environmental Programme. Dr. Ludwig Hartmann (Coordenador). United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. Paris, France, 152p. 1987.
- WEEKS, C.R. *Pollution in urban storm water runoff*. In: Urban Stormwater Quality: Management and Planning. Ed. By Bem Chie Yen. Water Resources Publication, 1981.

Endereço para correspondência:

Harry Alberto Bollmann
Departamento de Engenharia
Ambiental
Pontifícia Universidade Católica
do Paraná
Rua Imaculada Conceição, 1155
80215-901 Curitiba - PR - Brasil
Tel.: (41) 3271-1647
E-mail: harry.bollmann@pucpr.br



LOJA DE LIVROS
ESPECIALIZADA EM
SANEAMENTO E MEIO AMBIENTE

Listagem organizada por assunto e tabela de preços
www.abes-dn.org.br