

A UTILIZAÇÃO DE INDICADORES COMO FERRAMENTA PARA O ENQUADRAMENTO DE CORPOS DE ÁGUA

Estudo de Caso: Bacia Hidrográfica do Alto Iguaçu

Nicole M. Brassac¹, Andréa Dalla Nora², Ana Teresa G. P. Calmon³, Luiza H. L. Ribeiro⁴ & Regina T. Kishi⁵

RESUMO – Apresenta-se neste trabalho uma metodologia para composição de um índice de microbacia, como ferramenta para o enquadramento de corpos hídricos. A metodologia baseia-se na utilização de indicadores para formação do índice de microbacia (IMB) e sua aplicação em unidades de planejamento delimitadas com áreas da ordem de 50km². Para este estudo de caso selecionou-se a bacia hidrográfica do Alto Iguaçu, que foi subdividida em 53 microbacias. Para a composição do IMB foram selecionados indicadores de condição, que refletem de forma direta a qualidade da água do corpo hídrico, e de vulnerabilidade, que refletem de forma indireta a pressão ao corpo hídrico. Segundo a matriz de macropoluidores para a região em estudo, o indicador de condição selecionado foi a DBO, que representa o poluidor prioritário. Os indicadores de vulnerabilidade selecionados somam 30, sendo estes subdivididos em três esferas: ambiental, socioeconômico e institucional. A composição do IMB se fez a partir do agrupamento dos indicadores, com atribuição de pesos diferentes, sendo maior para o indicador de condição. As classes do IMB foram definidas a partir da matriz para o enquadramento, da qual resultaram cinco intervalos de qualidade da água, equivalentes às classes da Resolução CONAMA 357/05. Por fim, foi apresentado o IMB de forma espacializada para bacia em estudo.

ABSTRACT --- This paper presents a methodology for watershed management. The methodology is based upon using indicators to compose a micro watershed index (IMB) to be applied over planning units (drainage areas) of around fifty square kilometres. The Alto Iguaçu Watershed Basin was selected for this study case, being subdivided into 53 micro watersheds. For the composition of the IMB there were selected condition indicators, which reflect directly into water quality, and vulnerability indicators, which reflect the pressure on the river body in an indirect way. According to the macropollutant matrix for the study region, the chosen condition indicator was the biological oxygen demand (BOD), which represents a prior pollutant. Thirty vulnerability indicators were selected, divided into three aspects: environmental, socioeconomic and institutional. The composition of the IMB was performed after grouping the indicators and applying different weights – the condition indicator weighed more than the vulnerability altogether. The IMB classes were defined following the watershed management matrix, resulting in five intervals of water quality, equivalent to the legislation (CONAMA Resolution 357/05) classes. Finally, the IMB was spatially presented for each micro watershed in the Alto Iguaçu Watershed Basin.

Palavras-chave: indicadores, geoprocessamento, Alto Iguaçu.

¹ pesquisadora do Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento – LACTEC. Curitiba, PR. e-mail: n.brassac@lactec.org.br

² pesquisadora do Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento – LACTEC. Curitiba, PR. e-mail: andreadn@lactec.org.br

³ pesquisadora do Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento – LACTEC. Curitiba, PR. e-mail: atcalmon@lactec.org

⁴ pesquisadora do Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento – LACTEC. Curitiba, PR. e-mail: luiza@lactec.org

⁵ professora da Universidade Federal do Paraná. Centro Politécnico, Curitiba, PR. e-mail: rtkishi.dhs@ufpr.br

1 - INTRODUÇÃO

Considerando-se o baixo índice de informações sobre qualidade ambiental e dificuldades financeiras presentes na maior parte dos municípios brasileiros, propôs-se uma metodologia para ser utilizada como ferramenta no auxílio ao enquadramento de corpos de água. Sendo assim, a utilização de modelos matemáticos foi preterida em prol da seleção de indicadores formados a partir de dados que constam em bancos de dados de acesso público ou que estão facilmente disponíveis em órgãos e instituições públicas.

A vantagem da utilização de indicadores da forma proposta é a possibilidade de agilidade do processo, minimizando as dificuldades de geração de informações, não somente de ordem financeira, mas de recursos humanos e de tempo. Desta maneira, a utilização de dados secundários visa facilitar o processo de enquadramento em municípios com menor capacidade de investimento.

Tecnicamente, a metodologia com base em indicadores é capaz de fornecer uma visão “macro” da bacia em estudo, de acordo com o que prevê o enquadramento, como ferramenta de planejamento. Esta também possibilita o acompanhamento dos processos de melhoria de qualidade do corpo hídrico através das respostas do meio a atuações nas diversas esferas envolvidas pelos indicadores selecionados.

No enfoque de planejamento e gestão, como prevê a Política Nacional de Recursos Hídricos, a presente metodologia propõe um processo dinâmico, participativo e integrado, a partir de exposições e reuniões com órgãos de planejamento e saneamento ambiental, universidades e Comitês de Bacias.

Como caso piloto, selecionou-se a bacia do Alto Iguaçu, onde foram obtidas informações relativas a cada município inserido na mesma, as quais vieram a compor uma série de indicadores que, agregados, formaram o índice de microbacias.

Este trabalho compõe parte de projeto objeto de convênio entre a Financiadora de Estudos e Projetos – FINEP e Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento – LACTEC, intitulado *Metodologia para Enquadramento de Corpos de Água da Bacia do Alto Iguaçu*.

2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Conceitualmente, um indicador é uma variável que, em função do valor que assume em determinado tempo, desdobra significados que não são aparentes imediatamente, pois existe um construtor cultural e de significado social que se associa ao mesmo. O indicador deve fornecer informações importantes a um grupo determinado de pessoas, sem dar lugar a dúvidas ou interpretações falsas. Ele permite sintetizar informação sobre uma realidade complexa e variável, pois se constitui em si informação seleta e processada (QUIROGA, 2002).

A escolha de indicadores adequados recai sobre características essenciais que os mesmos devem apresentar, tais como, simplicidade, fácil disponibilidade e síntese de informações. Em termos de número e grau de complexidade, a utilização de muitos indicadores ou de indicadores extremamente detalhados, pode gerar dificuldades no processamento e interpretação dos dados. Ao mesmo tempo, a opção por poucos ou que reflitam informações muito superficiais, pode levar a resultados insuficientes (MÜLLER, 1995).

De forma geral, pode-se dizer que indicadores são parâmetros, ou funções derivadas deles, que têm a capacidade de descrever um “estado” ou uma “resposta” dos fenômenos que ocorrem em um meio. Quando um parâmetro é entendido como indicador, seu valor transcende o número ou a característica em si, adquirindo outro significado. Por exemplo, o valor de um parâmetro relacionado à água pode ter diferentes significados quando analisado sob a forma de indicador de qualidade em diferentes regiões. Há diferentes visões, linhas de interpretação, usos e destinações para um mesmo dado ou informação (SANTOS, 2004).

No enfoque de planejamento ambiental, os dados de um parâmetro indicador devem vir acompanhados de perguntas sobre o estado, as pressões e as respostas. Estes devem responder sobre características, propriedades e qualidades do meio e estar intimamente associados aos “objetivos” e “objeto” do planejamento. Conforme a Agência de Proteção Ambiental Americana - EPA (*apud* SANTOS, 2004), indicadores medem o avanço em direção a metas e objetivos.

A partir destes conceitos, os indicadores selecionados para o planejamento ambiental deverão, inclusive, refletir os condicionantes da interpretação dada aos seus valores, sejam eles, técnicos, históricos, sociais, ou mesmo lógicos, matemáticos ou lingüísticos. Devem identificar as relações e esclarecer sobre seus vínculos. Se os indicadores forem bem selecionados, reduz-se o número de parâmetros e medidas sobre o meio, diminuindo e norteando a amostragem. Isto é de fundamental importância ao planejamento, onde o processo decisório requer agilidade e eficiência no emprego de recursos (SANTOS, 2004).

FIDALGO (2003) estabelece a diferença entre indicadores agregados e índices, conceituando, que os primeiros constituem-se num conjunto de parâmetros ou indicadores simples, não envolvendo ponderações ou outras técnicas analíticas, como ocorre com os índices. Os índices são definidos, segundo diversas referências, como um conjunto de parâmetros ou indicadores agregados ou ponderados (OECD, 2003); resultado da combinação de várias variáveis ou parâmetros em um único valor, atribuindo um peso relativo a cada componente (BAKKES *et al.*, 1994 *apud* FIDALGO, 2003); agregação de estatísticas e/ou indicadores que resume grande quantidade de informação relacionada e que utiliza algum processo sistemático para atribuir pesos relativos, escalas e agregação de variáveis em um resultado único (EPA, 2005).

Segundo KISHI (1991), como os índices são designados a sumarizar, algumas informações podem ser perdidas no processo de simplificação. Todavia, se o índice é projetado corretamente, a informação perdida não gera sérias distorções nos resultados. Pela capacidade do índice de simplificar, quantificar, comunicar e expressar de forma resumida os fenômenos complexos, a partir da agregação de dados e informações, sua utilização no planejamento é amplamente aceita pela comunidade científica e interessa a muitos pesquisadores (SANTOS, 2004)

3 – METODOLOGIA

A proposta metodológica da utilização de indicadores como ferramenta na etapa de enquadramento de corpos de água é composta por duas fases principais, uma de diagnóstico da bacia e reconhecimento dos principais fatores que afetam a qualidade dos recursos hídricos e outra, mais específica de planejamento, em que se elaboraram objetivos de qualidade para os corpos de água e metas progressivas para o alcance dos mesmos, a curto e médio prazos, que podem ser simuladas a partir de cenários.

As principais etapas metodológicas estão descritas a seguir.

3.1 - Diagnóstico da Bacia Principal

O diagnóstico da bacia hidrográfica em estudo contemplou as dimensões ambiental, socioeconômica e institucional, e foi obtido através de visitas de campo e de dados secundários tabulados ou apresentados em planos de informação georreferenciada, oriundos de instituições e órgãos públicos e de pesquisa relacionados ao meio ambiente, economia, saúde, saneamento, políticas públicas, entre outros. Para a bacia do Alto Iguaçu, os dados e informações utilizados para diagnóstico e composição de indicadores as três dimensões citadas foram obtidos especialmente de SUDERHSA, IBGE, SEMA, IAP, IPARDES, COMEC, SANEPAR, SNIU e DATASUS. Estes foram processados e analisados através do software ArcView GIS 3.2, aplicativo específico para análises espaciais.

3.2 – Delimitação de Microbacias como Unidade de Planejamento

Para aplicação da metodologia na bacia piloto, a área de drenagem de interesse foi delimitada com dimensão de aproximadamente 50 km². Por limitações do terreno e da própria hidrografia, nem sempre foi possível que as microbacias geradas apresentassem esta área, resultando, em alguns casos, em valores superiores ou inferiores ao tamanho desejado. Nestes casos, foi necessário um processo manual para nova subdivisão ou agrupamento de microbacias que não estivessem de acordo com o tamanho esperado. Outro critério utilizado para delimitação destas áreas partiu da

observação da hidrografia, onde foram considerados aspectos como confluência de pequenos afluentes, áreas alagadas, uso e ocupação dos solos (no sentido de agrupar zonas industriais, rurais ou urbanas), e a possibilidade de divisão dos afluentes e do próprio rio Iguaçu em segmentos diversos, representando porções de montante, mediana e de jusante. Ao final do processo de delimitação, a bacia do Alto Iguaçu foi subdividida em 53 microbacias com área de drenagem média de 50,86 km² (Figura 1).

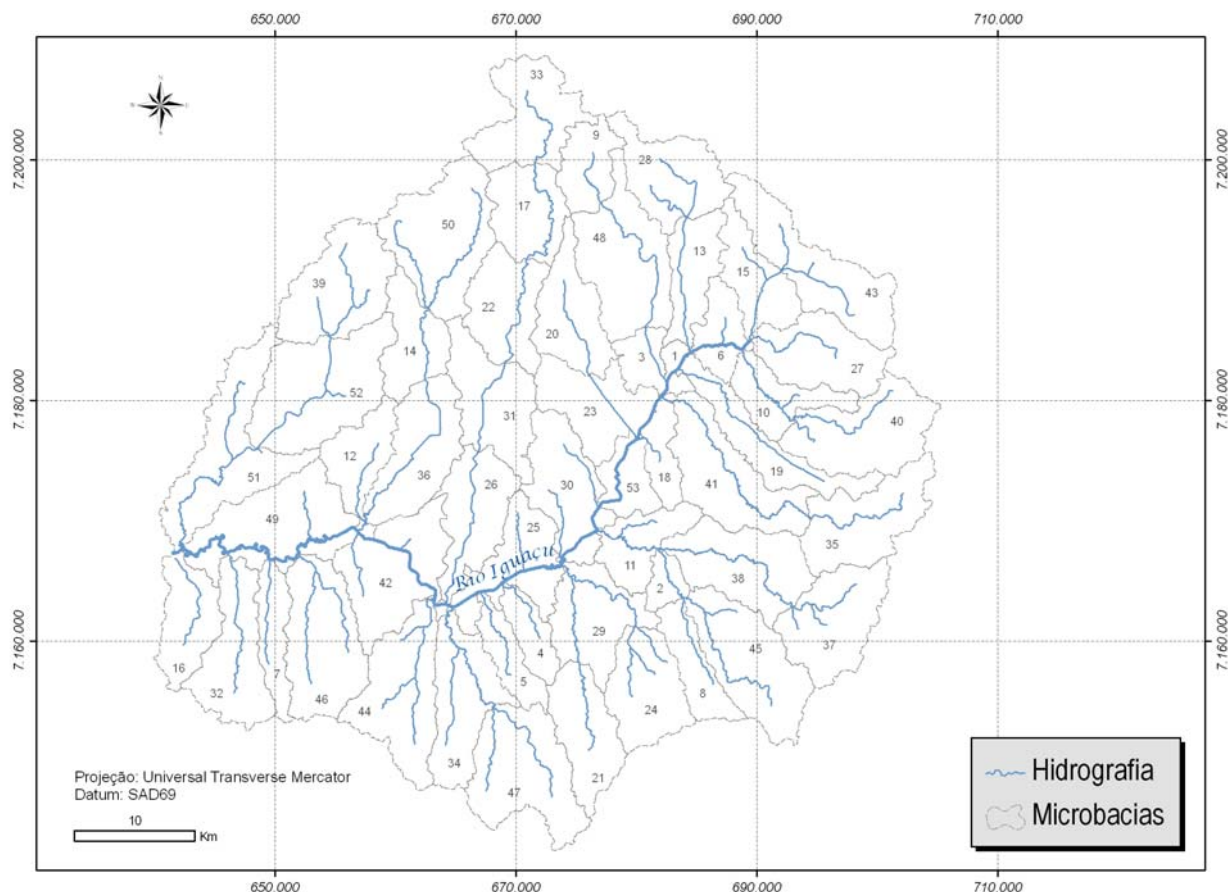


Figura 1 – Divisão das microbacias.

3.3 – Matriz de Macropoluidores e Poluentes Prioritários

Com base no diagnóstico ambiental, foi elaborada uma matriz onde foram relacionados os usos preponderantes da bacia e os principais macropoluidores (Quadro 1), entendidos como os que contribuem com as maiores e mais significativas cargas de poluentes para a bacia em estudo. Através do cruzamento destes dados foram discriminados parâmetros específicos que refletem a presença destes poluentes prioritários (matéria orgânica, nutrientes, material sólido, tóxicos, etc.) na água e seus impactos sobre os usos preponderantes na bacia. Estes parâmetros identificados na matriz foram utilizados para composição de indicadores de “condição” dos recursos hídricos, os quais balizariam o enquadramento.

No caso do Alto Iguaçu, os usos preponderantes identificados foram abastecimento urbano, proteção do ecossistema (em particular dos mananciais), irrigação e aquicultura, abastecimento de indústrias, dessedentação de animais, recreação e harmonia paisagística.

Os principais macropoluidores na bacia do Alto Iguaçu foram esgotos domésticos e despejos industriais e, em menor proporção, agropecuária, resíduos sólidos urbanos e escoamento superficial. Atualmente, os esgotos domésticos são responsáveis pela maior parcela de carga orgânica presente nas águas da bacia. Neste particular, a alta densidade populacional nas cabeceiras de mananciais se contrapõe aos objetivos de proteção destas áreas. Nestas porções dos corpos de água, o problema das cargas de matéria orgânica se agrava, em função da menor vazão dos corpos hídricos.

Quadro 1 – Matriz de Parâmetros Indicadores para o Enquadramento

Macropoluidores	Abastecimento Urbano	Proteção do Ecossistema / Mananciais	Irrigação / Piscicultura	Usos Industriais	Recreação / Harmonia Paisagística
Esgotos Domésticos	OD, DBO , NT, PT, ST	OD, DBO , NT, PT, ST	OD, DBO , SST, coliformes	DBO , ST, coliformes	OD, DBO , NT, PT, ST, coliformes
Despejos Industriais	DQO, DBO , pH, tóxicos a selecionar	DQO, DBO , pH, tóxicos a selecionar	DQO, DBO , tóxicos a selecionar	DQO, DBO	OD, DBO , OG, NT, PT
Agropecuária	DQO, DBO , ST, NT, PT, coliformes tóxicos a selecionar	DQO, DBO , ST, NT, PT, coliformes tóxicos a selecionar	DQO, DBO , ST, coliformes tóxicos a selecionar	DQO, DBO , coliformes	DQO, DBO , coliformes, ST
Resíduos Sólidos Urbanos	OD, DBO , ST, NT, PT, coliformes	OD, DBO , ST, coliformes	DQO, DBO , coliformes	DQO, DBO , ST, NT, PT, coliformes	DQO, DBO , ST, coliformes
Escoamento Superficial	OD, DBO , NT, PT, ST, coliformes	OD, DBO , NT, PT, ST, coliformes	OD, DBO , coliformes	OD, DBO , DQO, coliformes	OD, DBO , ST, coliformes

3.4 – Seleção dos Indicadores

Com relação aos indicadores, propôs-se a seleção de grupos representativos de “condição” e de “vulnerabilidade” dos recursos hídricos, com base na concepção americana, os quais irão compor um Índice de Microbacia (IMB).

Estes indicadores foram constituídos a partir de dados secundários obtidos em instituições ou bancos de dados públicos anteriormente referenciados, da mesma forma como se procedeu para o diagnóstico da bacia. Através de análises espaciais e cálculos matemáticos, estes dados foram trabalhados para gerar informações para cada município compreendido na bacia em estudo e, posteriormente, para cada unidade de planejamento (microbacia).

A Figura 2 mostra a representação gráfica da estrutura proposta na composição dos dois grupos de indicadores, onde os de "condição" têm maior importância em termos de avaliação da qualidade hídrica e os de “vulnerabilidade” refletem fatores influenciadores desta qualidade, dentro das dimensões ambiental, socioeconômica e institucional.

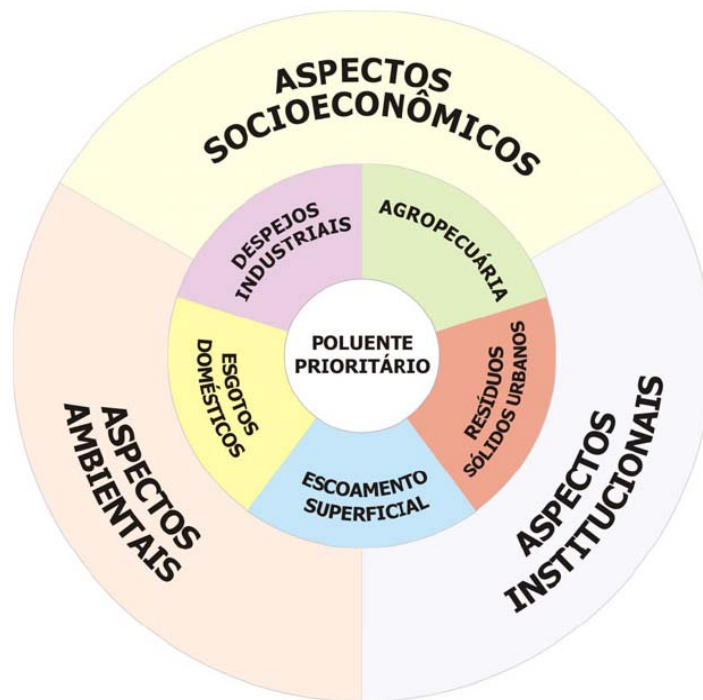


Figura 2 – Representação Gráfica da Estrutura dos Indicadores de Condição e de Vulnerabilidade.

3.4.1 Indicadores de Condição

Indicadores de “condição” (I_c) foram definidos como os que refletem, de forma direta, a qualidade da água do corpo hídrico em estudo. Estes foram compostos a partir dos parâmetros que representam os poluentes prioritários, conforme descrito na matriz do Quadro 1. Em função disto, atribuiu-se maior peso a este grupo de indicadores na composição do Índice de Microbacia.

Para a bacia do Alto Iguaçu, foi selecionado como indicador de condição o parâmetro DBO, em termos de concentração, pois a matéria orgânica é um dos poluentes prioritários da bacia, oriunda de esgotos domésticos e industriais. A carga em DBO destes principais macropoluidores é indicativa do seu potencial de impactos sobre os usos preponderantes na bacia. Esta escolha justifica-se ainda, por ser a DBO_5 parâmetro selecionado pela Agência Nacional de Águas – ANA (Resolução 219/05) para análise técnica na outorga de direito de uso dos recursos hídricos para fins de lançamento de efluentes e o dado mais disponível em órgãos ambientais de planejamento e controle ambiental. Entretanto, para ambientes que apresentam predomínio de uso e ocupação do solo diverso desta bacia piloto, recomenda-se a utilização de outros indicadores específicos e mais representativos para cada tipo de poluição, seguindo-se as mesmas etapas descritas adiante para a DBO_5 . Ou seja, a metodologia possibilita a inclusão e/ou substituição de parâmetros que irão compor os indicadores.

O indicador para cada microbacia foi dado em concentração de DBO, a partir da carga de DBO estimada, relativa à sua vazão de referência ($Q_{95\%}$), contemplando as cargas provenientes de todas as microbacias de montante.

Em síntese, o indicador DBO para cada microbacia foi composto pela somatória das cargas de DBO remanescentes dos esgotos domésticos, dos despejos industriais e dos despejos de ETEs.

Este indicador foi expresso em concentração, uma vez que esta é a unidade adotada na Resolução CONAMA 357/05 para os parâmetros do enquadramento.

3.4.1 *Indicadores de Vulnerabilidade*

Os indicadores de “vulnerabilidade” (I_v) foram definidos como os que refletem, de forma indireta, a qualidade dos recursos hídricos e do meio ambiente, pois são parâmetros representativos de pressões antrópicas exercidas sobre os mesmos. Ou seja, são fatores “influenciadores” da qualidade do corpo hídrico, relacionados à ocupação e atividades desenvolvidas na bacia, compreendidos nas dimensões ambiental, socioeconômica e institucional.

De acordo com os tipos de dados obtidos nos bancos de dados de acesso público, anteriormente mencionados, as informações para cada microbacia foram apropriadas com base em três critérios:

- Análises espaciais de dados georreferenciados;
- Cálculo da média ponderada entre valores numéricos ou percentuais correspondentes aos municípios contribuintes para a microbacia;
- Análise quanto a “presença” ou “ausência”, ou ainda, de dados qualitativos do fator indicador, assumindo-se a informação do município com área predominante na microbacia.

Por exercerem influência indireta sobre a qualidade da água, atribuiu-se menor peso aos indicadores de vulnerabilidade na composição do Índice de Microbacia, em relação ao grupo de indicadores de condição.

Para a bacia do Alto Iguaçu, foram selecionados 30 indicadores de vulnerabilidade, 10 representativos de cada uma das dimensões (ambiental, socioeconômica e institucional).

Os indicadores de vulnerabilidade da dimensão ambiental refletem pressões impostas à bacia hidrográfica em função da sua antropização, dinâmica de ocupação, preservação e degradação ambiental. Para aplicação da metodologia na bacia piloto, os indicadores selecionados foram:

- 1) **Adensamento Urbano em Área de Manancial:** Indicador formado através da análise espacial de manchas urbanas e áreas de manancial, verificando-se a existência ou não de área urbana dentro de área de manancial. A partir desta análise, foi calculada a densidade populacional urbana nas áreas de manancial, assumindo-se para a interpretação do indicador a situação mais crítica de adensamento, quando da existência de duas ou mais manchas urbanas na mesma microbacia.
- 2) **Áreas Potenciais à Degradação do Solo:** A formação do indicador deu-se através da sobreposição das informações espaciais, verificando-se o percentual de ocupação

antrópica em ecossistemas com vulnerabilidade ambiental e/ou solos com potencial natural à degradação, em relação à área total da microbacia.

- 3) **Cemitérios e Aterros:** Indicador formado através da sobreposição das informações espaciais de cemitérios e aterros em cada microbacia. A interpretação do indicador foi feita a partir da presença de cemitérios, de aterros ou de ambos na microbacia.
- 4) **Cobertura Vegetal:** Indicador formado através da sobreposição de informações espaciais, quantificando-se a área total de remanescentes de cobertura vegetal (áreas de vegetação arbórea natural, vegetação arbórea reflorestada e vegetação arbustiva natural) em cada microbacia. A interpretação do indicador foi feita a partir da relação, em termos percentuais, entre a área total daqueles remanescentes e a área da respectiva microbacia.
- 5) **Concentração de Grandes Poluidores Industriais:** A formação deste indicador deu-se através da sobreposição das informações espaciais, verificando a presença de indústrias poluidoras em cada microbacia. A interpretação do indicador foi feita quantificando-se os grandes poluidores industriais na microbacia.
- 6) **Densidade Populacional:** A formação deste indicador deu-se, inicialmente, com o cálculo das densidades urbanas e rurais de cada município pertencente ao Alto Iguaçu, a partir da relação das populações (urbana e rural) com as respectivas áreas. Em etapa posterior, a densidade populacional em cada microbacia foi calculada por geoprocessamento, através da ponderação das densidades urbana e rural dos municípios inseridos na microbacia, em relação às áreas dos mesmos.
- 7) **Grau de Antropização Rural:** A formação deste indicador deu-se através da sobreposição das informações espaciais, verificando-se a presença de áreas agrossilvopastoris (usos misto, agricultura intensiva, pastagem e reflorestamento) em cada microbacia. A interpretação do indicador foi feita através de cálculos percentuais da relação entre as áreas ocupadas por atividades agrossilvopastoris e a área da microbacia.
- 8) **Grau de Urbanização:** Indicador formado, primeiramente, através da relação entre a população urbana e a população total, para cada município da bacia em estudo. Posteriormente, foi efetuada, por geoprocessamento, a média ponderada entre o grau de urbanização dos municípios em relação às respectivas áreas de contribuição em cada microbacia. A interpretação do indicador se deu através da análise do percentual médio dos graus de urbanização das microbacias.
- 9) **Taxa de Crescimento Populacional:** A formação deste indicador foi direta, através da identificação da taxa de crescimento populacional de cada município. A interpretação do indicador foi feita através da quantificação do seu percentual médio ponderado em cada município, em relação às respectivas áreas inseridas na microbacia.

10) **Unidades de Conservação:** Indicador formado através da sobreposição das informações espaciais, verificando-se a presença de Unidades de Conservação dentro de Áreas Prioritárias à Conservação da Biodiversidade, em cada microbacia. A interpretação do indicador foi espacial, em termos percentuais, relacionando-se as áreas de unidades de conservação com as áreas de proteção da biodiversidade, para verificar se áreas prioritárias estão efetivamente sendo protegidas através de UCs.

Os indicadores de vulnerabilidade da dimensão socioeconômica refletem pressões impostas à bacia hidrográfica em função de aspectos de infra-estrutura, saúde, educação, renda e riqueza dos municípios contribuintes para sua área de drenagem. Para aplicação da metodologia na bacia piloto, os indicadores selecionados foram:

- 1) **Abastecimento de Água:** Indicador formado através da identificação do percentual de atendimento por rede de água em cada município, na microbacia. A interpretação deu-se através da quantificação do percentual médio ponderado do indicador, com relação à área de cada município inserido na microbacia.
- 2) **IDH Municipal:** A formação deste indicador foi direta, através da identificação do IDH de cada município. A interpretação espacial deu-se através da quantificação do percentual médio ponderado do indicador, com relação à área de cada município inserido na microbacia.
- 3) **Leitos Hospitalares:** Indicador formado diretamente através da identificação do número de leitos hospitalares por mil habitantes de cada município. A interpretação espacial deu-se através da quantificação do percentual médio ponderado do indicador, com relação à área de cada município inserido na microbacia.
- 4) **Mortalidade Infantil:** A formação deste indicador foi direta, através da identificação do CMI de cada município. A interpretação espacial deu-se através da quantificação do percentual médio ponderado do indicador, com relação à área de cada município inserido na microbacia.
- 5) **Óbitos por Doenças de Veiculação Hídrica:** A formação deste indicador foi direta, através da identificação do percentual de óbitos por doenças de veiculação hídrica, em relação à população total de cada município. A interpretação espacial deu-se através da quantificação do percentual médio ponderado do indicador, com relação à área de cada município inserido na microbacia.
- 6) **PIB per capita Municipal:** Indicador formado diretamente através da identificação do valor do PIB per capita de cada município. A interpretação espacial deu-se através da quantificação do percentual médio ponderado do indicador, com relação à área de cada município inserido na microbacia.

- 7) **Razão entre Alunos e Professores:** A formação deste indicador deu-se através da relação entre o número de matrículas do ensino fundamental e o número de professores para cada município. A interpretação espacial foi feita através da quantificação do percentual médio ponderado do indicador, com relação à área de cada município inserido na microbacia.
- 8) **Rede de Esgoto e Fossa Séptica:** A formação deste indicador foi feita através da identificação do percentual de atendimento por rede de esgoto e fossa séptica de cada município, na microbacia. A interpretação espacial do indicador deu-se através da quantificação do percentual médio ponderado do indicador, com relação à área de cada município inserido na microbacia.
- 9) **Resíduos Sólidos:** A formação deste indicador foi feita através da identificação do percentual de atendimento por serviço de coleta de resíduos sólidos urbanos de cada município, na microbacia. A interpretação espacial do indicador deu-se através da quantificação do percentual médio ponderado do indicador, com relação à área de cada município inserido na microbacia.
- 10) **Taxa de Pobreza:** Indicador formado diretamente através da identificação do valor da taxa de pobreza para cada município, na microbacia. A interpretação espacial deu-se através da quantificação do percentual médio ponderado do indicador, com relação à área de cada município inserido na microbacia.

Os indicadores de vulnerabilidade da dimensão institucional refletem pressões impostas à bacia hidrográfica em função de aspectos relacionados à institucionalização da questão ambiental nas administrações municipais (existência de estrutura administrativa e mecanismos de articulação institucional, andamento da Agenda 21, disponibilidade de recursos financeiros e de legislação específicos para o meio ambiente). Além disso, considera o estado do meio ambiente local relacionado ao desempenho do gestor ambiental (alterações ambientais relevantes, pressões atuantes na sua degradação, programas e ações municipais praticadas como resposta).

As informações para estes indicadores foram trabalhadas a partir de dados levantados pelo IBGE, em parceria com o Ministério do Meio Ambiente, da Pesquisa de Informações Básicas Municipais realizada junto às prefeituras dos 5.560 municípios brasileiros, relativamente ao tema meio ambiente, que permitiu traçar um perfil dos municípios brasileiros concernente à gestão e ao estado do meio ambiente local, oferecendo subsídios à formulação de políticas públicas voltadas a um novo padrão de desenvolvimento sustentável (IBGE, 2002). Para aplicação da metodologia na bacia piloto, os indicadores selecionados foram:

- 1) **Ações para Controle da Poluição por Resíduos Sólidos:** A formação deste indicador deu-se através da quantificação de algumas ações de gestão e destinação de resíduos sólidos desenvolvidas em cada município, na microbacia, como gestão de resíduos

tóxicos, implementação de aterros sanitários e programa de coleta seletiva de lixo. Para a interpretação do indicador, assumiu-se a informação correspondente ao município com área predominante na microbacia.

- 2) **Ações para Despoluição dos Recursos Hídricos:** A formação deste indicador deu-se através da identificação da existência ou não de ações para a despoluição de recursos hídricos, em cada município, na microbacia. Para a interpretação do indicador, assumiu-se a informação correspondente ao município com área predominante na microbacia.
- 3) **Ações para Manutenção da Vegetação Nativa:** Indicador formado através da identificação da existência ou não de ações para a manutenção da vegetação nativa, em cada município, na microbacia. Para a interpretação do indicador, assumiu-se a informação correspondente ao município com área predominante na microbacia.
- 4) **Agenda 21:** A formação deste indicador deu-se através da identificação do estágio atual de elaboração e implantação da Agenda 21, em cada município. Para a interpretação do indicador, assumiu-se a informação correspondente ao município com área predominante na microbacia.
- 5) **Consórcios e Comitês:** A formação deste indicador deu-se através da identificação da situação dos municípios inseridos na microbacia, no que diz respeito à sua participação em consórcios e comitês intermunicipais. Para a interpretação do indicador, assumiu-se a informação correspondente ao município com área predominante na microbacia.
- 6) **Despesas por Função:** Indicador formado através da soma dos valores das três despesas municipais selecionadas (“energia e recursos naturais”, “habitação e urbanismo” e “saúde e saneamento”), e de sua relação, em termos percentuais, com o valor das despesas totais de cada município. Para a interpretação do indicador, assumiu-se a informação correspondente ao município com área predominante na microbacia.
- 7) **ICMS Ecológico:** A formação deste indicador considerou o recebimento ou não de ICMS ecológico pelos municípios, na microbacia, o valor repassado no ano de 2000 e sua relação com o número de habitantes. Para a interpretação do indicador, assumiu-se a informação correspondente ao município com área predominante na microbacia.
- 8) **Legislação Ambiental Municipal:** A formação deste indicador deu-se através da identificação da existência ou não de legislação municipal específica para tratar de questões ambientais, em cada município, na microbacia. Para a interpretação do indicador, assumiu-se a informação correspondente ao município com área predominante na microbacia.
- 9) **Plano de Gestão e Zoneamento Ecológico Econômico:** A formação deste indicador deu-se através da identificação da existência ou não de plano de gestão e zoneamento

ecológico nos municípios. Para a interpretação do indicador, assumiu-se a informação correspondente ao município com área predominante na microbacia.

10) **Plano Diretor:** Indicador formado através da comparação entre as informações de diferentes fontes (SNIU, PARANACIDADE, *sites* das prefeituras municipais), considerando-se a melhor situação quanto a existência e estágio de desenvolvimento do plano diretor nos municípios. Para a interpretação do indicador, assumiu-se a informação correspondente ao município com área predominante na microbacia.

3.6 – Classificação dos Indicadores

A todos os componentes dos dois grupos de indicadores selecionados (“condição” e “vulnerabilidade”) foram atribuídos valores numéricos com base nos intervalos 0, 1 e 2. Estes valores correspondem, respectivamente, a uma avaliação mais favorável, média e menos favorável quanto a qualidade dos recursos hídricos ou, inversamente, quanto ao potencial de pressão antrópica sobre os mesmos.

Como exemplos do tratamento dos valores numéricos atribuídos aos indicadores, segue o modelo para o indicador de condição “concentração de DBO”, conforme o Quadro 2, e um modelo para o indicador de vulnerabilidade institucional “Agenda 21”, conforme Quadro 3.

No caso do indicador de condição os intervalos são definidos com base nos limites de concentração de DBO estabelecidos na Resolução CONAMA 357/05. Para o indicador de vulnerabilidade institucional apresentado os intervalos são definidos com base na situação de implementação da Agenda 21 no município.

Quadro 2 – Exemplo da atribuição de valores numéricos para o indicador de condição “Concentração de DBO”

Intervalo	Classe	Descritivo
0	Baixo potencial de poluição	Limite da classe 2 das águas doces (CONAMA 357/05) – menor ou igual a 5,0 mg/L.
1	Médio potencial de poluição	Limite da classe 3 das águas doces (CONAMA 357/05) – maior que 5,0 mg/L e menor ou igual a 10,0 mg/L.
2	Alto potencial de poluição	Excedente ao Limite da classe 3 das águas doces (CONAMA 357/05) – maior que 10,0 mg/L.

Quadro 3 – Exemplo da atribuição de valores numéricos para o indicador de vulnerabilidade institucional “Agenda 21”

Intervalo	Classe	Descritivo
0	Implementação Adiantada	Agenda 21 implementada ou em implementação ou em fase de elaboração do Plano de Desenvolvimento Sustentável.
1	Implementação Inicial	Agenda 21 em fase de Diagnóstico ou de Metodologia ou de Sensibilização/Mobilização da Comunidade.

2	Sem implementação	Agenda 21 não implementada.
---	-------------------	-----------------------------

3.7 – Composição do Índice de Microbacia

O índice de Microbacia (IMB) para cada uma das unidades de planejamento delimitadas (microbacias hidrográficas) foi calculado através da soma dos valores obtidos para todos os indicadores avaliados. Pelos critérios adotados, valores mais elevados indicam maior degradação dos recursos hídricos e/ou situação mais crítica em relação a fatores como preservação ambiental, estrutura institucional, políticas públicas e capacidade de investimento nas respectivas áreas.

Na composição do IMB foram estabelecidos pesos para cada grupo de indicadores (condição e vulnerabilidade), em função de sua capacidade de refletir a degradação do meio hídrico. Desta forma, atribuiu-se maior peso ao indicador de condição (DBO), porque reflete diretamente a qualidade da água, e menor peso ao grupo de indicadores de vulnerabilidade, uma vez que respondem a uma avaliação indireta, da vulnerabilidade do corpo hídrico frente a pressões antrópicas. Com base nisto, definiu-se, arbitrariamente, após consenso coletivo entre os técnicos envolvidos no projeto, para cada grupo de 10 indicadores de vulnerabilidade (ambiental, socioeconômico e institucional) um peso de 10%, resultando para as três esferas um total de 30%. Para o indicador de condição, o peso atribuído foi de 70%. Sendo a expressão matemática definida por:

$$IMB = (Indic.Condição.DBO).P_c + \frac{\sum [(Indic.Ambientais) + (Indic.Sócioeconômicos) + (Indic.Institucionais)]}{n}.P_v$$

onde,

IMB = Índice de Microbacia (variando de 0 a 2)

Indicador de Condição DBO (variando de 0 a 2)

Indicadores Ambientais, Socioeconômicos e Institucionais (variando de 0 a 2)

n – número de indicadores totais aplicáveis a microbacia (n° máximo = 30)

P_c – Peso do Indicador de Condição (70%)

P_v – Peso do Indicador de Vulnerabilidade (30%)

3.8 – Matriz de Referência para o Enquadramento

A matriz de referência para o enquadramento representou uma ferramenta dentro da metodologia para se avaliar a qualidade da água em relação às classes de uso do enquadramento e para auxiliar o estabelecimento e o controle das suas metas. A matriz foi composta pelas duas categorias de indicadores (condição e vulnerabilidade), classificados pelo mesmo critério de intervalos (0, 1 e 2). Dentro da proposta metodológica, o conteúdo da matriz deve representar condições “adequadas” ou “permitidas” de qualidade para cada indicador, em relação às cinco classes do enquadramento.

A classificação dos indicadores para preenchimento da matriz foi feita de forma participativa, através de consultas a técnicos das áreas de meio ambiente, recursos hídricos e saneamento ambiental. Envolveram-se no processo representantes de SUDERHSA, SANEPAR, UFPR, PUC, do Comitê da Bacia do Alto Iguaçu, além de pesquisadores de outros estados, aos quais foram enviadas cópias da matriz para seu preenchimento. Os dados foram compilados pela frequência das respostas e os comentários efetuados pelos técnicos auxiliaram na reestruturação da matriz final.

A partir dos scores dos indicadores da matriz final foram gerados índices (IMB) para cada classe do enquadramento, sendo os valores representativos da classe especial (0,000), classe 1 (0,030), classe 2 (0,220), classe 3 (0,990) e classe 4 (2,000). Estes valores de IMB foram adotados como base para a definição de intervalos de qualidade a serem relacionados às classes do enquadramento, como observado na tabela a seguir.

Quadro 3 – Intervalos de IMB Relacionados às Classes do Enquadramento

Intervalos de IMB	Classe de Uso Relacionada
A = 0,000	qualidade representativa de classe especial
B > 0,000 ≤ 0,030	qualidade representativa de classe 1
C > 0,030 ≤ 0,220	qualidade representativa de classe 2
D > 0,220 ≤ 0,990	qualidade representativa de classe 3
E > 0,990 ≤ 2,000	qualidade representativa de classe 4

Estes intervalos e limites são utilizados como referência de qualidade necessária, quanto a DBO e de estrutura socioeconômica, ambiental e institucional contemplada na metodologia, para atender aos usos a que as classes se destinam (Resolução CONAMA 357/05). Ressalta-se que valores de IMB próximos do valor zero representam a melhor situação de qualidade do corpo hídrico e valores de IMB próximos de dois, a situação de qualidade mais crítica quanto a degradação.

4 – RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com base na metodologia sugerida, foi determinado para cada unidade de planejamento (microbacia) um valor de IMB que foi adequado ao intervalo representativo das classes de enquadramento (Quadro 3). A espacialização do IMB na bacia piloto do Alto Iguaçu é apresentada na Figura 3.

Desta representação tem-se como resultante uma situação de alta degradação do corpo hídrico ao longo do rio Iguaçu e nos seus grandes afluentes da margem direita.

Além do objetivo de diagnóstico (condição atual), os indicadores representam diferentes opções de planejamento e manejo sócio-ambiental para proposição de metas e alcance do nível de qualidade pretendido (condição futura), sendo base, também, para o acompanhamento da evolução da qualidade do corpo hídrico durante o processo de enquadramento.

Ressalta-se que a metodologia permite inclusão ou exclusão de indicadores e, especialmente no caso de indicadores de condição, um número maior deles na análise confere à metodologia proposta neste estudo maior aderência a condições e padrões de qualidade de água constantes na Resolução CONAMA 357/05.

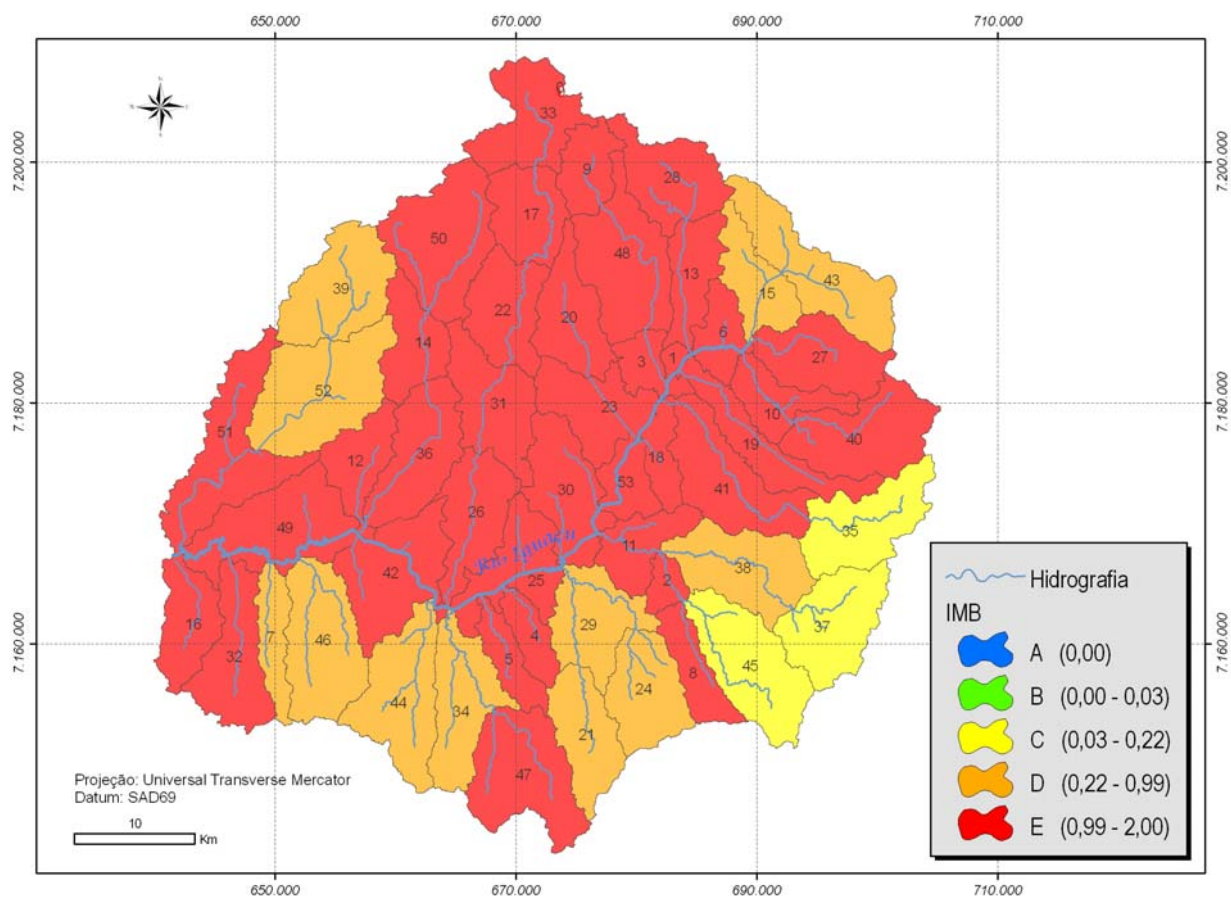


Figura 3 – A espacialização do IMB na bacia piloto do Alto Iguaçu.

Observa-se que, nas microbacias onde não existam dados suficientes para a composição dos indicadores, o IMB não deva ser calculado. Nestes casos, não há termos de comparação com valores de IMB de outras microbacias onde as informações são completas, o que poderia induzir a uma interpretação errônea da situação do corpo hídrico.

5 – CONCLUSÕES

A metodologia proposta visa fácil aplicação e racionalização de custos pela utilização de dados secundários oriundos de bancos de acesso público, menor demanda de pessoal especializado e de tempo, pois não prevê geração de dados primários. Municípios com poucos recursos financeiros podem ser especialmente favorecidos por estes aspectos em ações de planejamento, como é o enquadramento. A flexibilidade pela introdução ou exclusão de indicadores, dependendo das características ambientais, socioeconômicas e institucionais da região de interesse também é apontada como uma das vantagens da metodologia proposta. Isto possibilita adaptação e aplicação da mesma em outros estados brasileiros, de características diversas da bacia do Alto Iguaçu, utilizada como piloto.

Algumas limitações da metodologia podem ser apontadas, em função de fatores que foram sendo detectados ao longo do seu desenvolvimento. Estes fatores resumem-se, principalmente, na carência em dados secundários verificada em alguns municípios, na diversidade temporal dos dados disponíveis e na dificuldade de obtenção de dados junto a várias instituições de planejamento. Reforça-se que, quanto melhor a qualidade do dado utilizado na metodologia, mais próximo da condição real será o diagnóstico da bacia, conseqüentemente, mais adequado e preciso o processo de enquadramento.

Considerando estas limitações, a metodologia é indicada como uma ferramenta de fácil aplicabilidade no auxílio ao processo de planejamento, no que se refere ao enquadramento de corpos hídricos. A utilização de indicadores para a composição de um índice de microbacia para a área de estudo tem como resultante uma análise da situação da bacia, com base nos intervalos de qualidade representativas a classificação CONAMA. A partir desta análise, pode-se então estabelecer e simular cenários para identificar as medidas estruturais e não estruturais necessárias para o atendimento das metas de enquadramento, conforme vocações identificadas em cada microbacia.

AGRADECIMENTOS

As autoras agradecem ao apoio financeiro obtido juntamente à FINEP e também à equipe de pesquisadores e estagiários da Divisão de Meio Ambiente do LACTEC.

BIBLIOGRAFIA

- BRASIL. (2005). Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005. Classifica as águas doces, salobras e salinas do Território Nacional, segundo os usos preponderantes, revogando a Resolução CONAMA nº 20. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 18 de março de 2005.
- EPA – Environmental Protection Agency. Water Quality Standards. (on-line). Disponível em <http://www.epa.gov/OST/standards/about/>. [Acessado em 01 de agosto de 2005].
- FIDALGO, E.C.C. (2003). Critérios para Análise de Métodos e Indicadores Ambientais Usados na Etapa de Diagnóstico de Planejamentos Ambientais. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). Campinas: Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Agrícola. 238p.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Perfil dos Municípios Brasileiros: Meio Ambiente 2002. (2002). (on-line). Disponível em http://www.ibge.gov.br/munic_meio_ambiente_2002/index.htm [Acesso em 20 de julho de 2006].
- KISHI, R.T. (1991). Avaliação Ambiental da Lagoa Negra/RS – Índices e Modelagem Matemática. Dissertação Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento. IPH/UFRGS. 248pp.
- MULLER, A.C. (1995). Hidrelétricas – Meio Ambiente e Desenvolvimento. São Paulo: Makron Books.
- OECD – Organisation for Economic Co-operation and Development. Education at a Glance 2003 – Tables (2003). (on-line). Disponível em http://www.oecd.org/document/34/0,2340,en_2649_201185_14152482_1_1_1_1,00.html [Acessado em 30 de Agosto de 2006].
- QUIROGA, R.(2002). Información y Participación em el Desarrollo de la Sustentabilidade em America Latina. La Transicion Hacia el Desarrollo Sutentável. Mexico pp 115 – 139.
- SANTOS, R.F.(2004) Indicadores Ambientais e Planejamento. In: Planejamento Ambiental: teoria e prática. São Paulo: Oficina de Textos. pp 57-70.

Quadro 3 – Siglas Utilizadas.

Sigla	Significado
ANA	Agencia Nacional de Águas
COMEC	Coordenação da Região Metropolitana de Curitiba
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
DATASUS	Departamento de Informática do SUS – Sistema Único de Saúde
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
EPA	Environmental Protection Agency
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
FINEP	Financiadora de Estudos e Projetos
GIS	Geographic Information System
IAP	Instituto Ambiental do Paraná
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICMS	Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Prestação de Serviços
IDH	Índice de Desenvolvimento Humano
IMB	Índice de Microbacias
IPARDES	Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social
LACTEC	Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento
NT	Nitrogênio Total
OD	Oxigênio Dissolvido
OECD	Organisation for Economic Co-operation and Development
PIB	Produto Interno Bruto
PT	Fósforo Total
SANEPAR	Companhia de Saneamento do Paraná
SEMA	Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos
SNIU	Sistema Nacional de Indicadores Urbanos
SST	Sólidos Suspensos Totais
ST	Sólidos Totais
UFPR	Universidade Federal do Paraná
PUC	Pontifícia Universidade Católica
SUDERHSA	Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental
UCs	Unidades de Conservação