INTRODUÇÃO

A água é um dos mais importantes elementos da natureza, pois participa de todos os processos metabólicos dos organismos vivos. Contudo, há poucas regiões no mundo ainda livres dos problemas da perda de fontes potenciais de água doce e da degradação na qualidade da água (CNUMAD, 1992).

O Brasil conta com cerca de 10% da água doce disponível no mundo; mais de 90% de seu território recebe chuvas relativamente abundantes durante o ano todo e as condições climáticas e geológicas propiciam a formação de uma extensa e densa rede de rios, com exceção do semiárido, onde os rios são geralmente intermitentes (CAMPANILLI ; RICARDO, 2007).

No entanto, além de ser distribuída de forma irregular, esta água enfrenta problemas de degradação de sua qualidade, decorrentes, entre outros, do lançamento de esgotos domésticos sem tratamento, controle ineficiente de efluentes industriais, desmatamento, práticas agrícolas inadequadas e disposição inadequada de resíduos sólidos. Esta pressão crescente sobre a água e seus ambientes aquáticos requer o acompanhamento sistemático das alterações da qualidade da água, de modo a subsidiar ações de proteção e recuperação ambiental, com vistas à garantia dos usos atuais e futuros, para diversos fins (SANTOS *et al*., 2001).

Para tanto, faz–se necessário gerar dados que informem o estado da água e do seu ambiente aquático. Com essa finalidade, são estabelecidos os Programas de Monitoramento (SOARES, 2001). O monitoramento das águas tem produzido grande quantidade de dados, e este grande volume, se não usado de forma adequada, frequentemente se acumula sem produzir nenhuma informação de qualidade de água (JONNALAGADDA ; MHERE, 2001).

Para uma interpretação ecológica da qualidade das águas superficiais e/ou para estabelecer um sistema de monitoramento, é necessário a utilização de um planejamento sistemático que propicie informações objetivas e interpretáveis, partindo para critérios próprios que considerem as características peculiares dos recursos hídricos (PINEDA ; SCHÄFER, 1987).

Neste sentido, o desenvolvimento de Índices de Qualidade de Água (IQAs) tem como objetivo transformar as informações geradas pelos monitoramentos em uma forma mais acessível e de fácil entendimento pelos gestores deste recurso e também pelas populações que utilizam estes mananciais. Os IQAs tentam, dessa

forma, refletir a possível deterioração dos recursos hídricos ao longo da bacia hidrográfica ou ao longo do tempo (TOLEDO ; NICOLELLA, 2002). O IQA é empregado como uma metodologia integradora, por converter várias informações num único resultado numérico (ALMEIDA ; SCHRWARZBOLD, 2003). Porém, ao se trabalhar com índices que agregam inúmeras variáveis ambientais em um único número é possível o surgimento de um efeito indesejável, o chamado 'efeito eclipse'. Este efeito pode causar uma atenuação do impacto negativo ou positivo de uma das variáveis frente ao comportamento estável das demais (SILVA ; JARDIM, 2006).

Esta preocupação levou ao desenvolvimento de técnicas mais apropriadas e avançadas que interrelacionem e processem variáveis objetivas e subjetivas de qualidade de água. Estas variáveis têm características de grande oscilação no espaço e no tempo, muitas vezes são consideradas vagas e imprecisas, sendo mais bem compreendidas a partir da experiência acumulada dos especialistas em qualidade de água.

Autores, como Chau (2006), defendem que a avaliação subjetiva dessas variáveis pode ser mais bem tratada através de metodologias e modelagens que emergem da Inteligência Artificial. Foi assim que Zadeh (1965), dentro de uma área de pesquisa da Inteligência Artificial, concebeu a Lógica Nebulosa. Sua base é constituída pela matemática dos conjuntos nebulosos, uma extrapolação da Teoria de conjuntos tradicionais, capaz de tratar as incertezas, as subjetividades e os conceitos vagos através de uma abordagem alternativa.

Partindo-se deste pressuposto, Pessoa (2010) propôs um novo Índice de Qualidade de Água para ambiente lótico, baseado em lógica nebulosa, o denominado "IQA_{FAL}". Este índice foi desenvolvido no Estado do Rio de Janeiro, utilizando-se do conhecimento e da longa experiência em qualidade de água de especialistas do Instituto Estadual do Ambiente (INEA[1]). A metodologia IQA_{FAL} foi elaborada a partir do estudo de caso do rio Paraíba do Sul, mediante a utilização de dados de qualidade de água relativos ao período 2002-2009. O estudo concluiu que este Índice se mostrou capaz de sintetizar a qualidade da água do trecho do rio Paraíba do Sul, correspondendo satisfatoriamente às avaliações de qualidade de água descritas nos relatórios disponíveis do próprio INEA (PESSOA, 2010).

[1] Instituição de planejamento e controle ambiental do Estado do Rio de Janeiro criada em 2007 a partir da fusão da Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente - FEEMA, o Instituto Estadual de Florestas - IEF e a Superintendência de Rios e Lagoas - SERLA.

Este trabalho propõe dar continuidade ao trabalho desenvolvido por Pessoa, em conjunto com técnicos da Gerência de Qualidade de Água do INEA, da qual a autora faz parte, aplicando a metodologia IQA_{FAL} a outro ambiente lótico, de características bem distintas do rio Paraíba do Sul: as Bacias contribuintes da Lagoa Rodrigo de Freitas, formadas pelos rios dos Macacos, Cabeça e Rainha, na Zona Sul da cidade do Rio de Janeiro.

Objetivos geral e específicos

Este estudo tem como objetivo principal aplicar o Índice de Qualidade de Água para ambiente lótico, baseado em lógica nebulosa - o IQA_{FAL} -, adotado no INEA, ao caso das Bacias contribuintes da Lagoa Rodrigo de Freitas e analisar a sua adequação em sintetizar a informação sobre qualidade de água de bacias hidrográficas de pequeno porte e primordialmente urbanas.

Os objetivos específicos são os seguintes:

- Identificar qual(is) variável(is) de qualidade de água é (são) mais determinante(s) para o resultado final do IQA_{FAL};
- Comparar as condições da qualidade de água ao longo do gradiente longitudinal nos rios dos Macacos, Cabeça e Rainha (contribuintes à Bacia Hidrográfica da Lagoa Rodrigo de Freitas);
- Comparar os resultados gerados pelo IQA_{FAL} com os resultados obtidos a partir do uso de outro índice de qualidade de água, no caso específico o IQA utilizado pela CETESB[2], - o IQA_{CETESB}.

  Observação: Foi escolhido o IQA_{CETESB}, pois este foi o índice utilizado primordialmente no trabalho de Pessoa (2010), por se tratar de um índice reconhecido e amplamente utilizado no Brasil, tornando-se, assim, referência nacional. É importante salientar que este índice foi desenvolvido

[2] Criada em 24 de julho de 1968, pelo Decreto nº 50.079, a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo - CETESB - é a agência do Governo do Estado responsável pelo controle, fiscalização, monitoramento e licenciamento de atividades geradoras de poluição, com a preocupação fundamental de preservar e recuperar a qualidade das águas, do ar e do solo.

para avaliar a qualidade das águas, tendo como determinante principal a sua utilização para o abastecimento público, considerando aspectos relativos ao tratamento dessas águas.

- Acompanhar / avaliar a evolução espaço-temporal dos parâmetros utilizados no cálculo do IQA_{FAL} monitorados nestes corpos d'água no período do estudo (2003 a 2010).

Motivação e justificativa da pesquisa

São vários os motivos que justificam o desenvolvimento deste estudo. Em primeiro lugar, o INEA, instituição da qual a autora faz parte, tem interesse em aprimorar o IQA_{FAL} – adotado oficialmente como seu índice de qualidade de água – através da sua aplicação em ambientes lóticos distintos. Portanto, a escolha do IQA_{FAL} como principal objeto de pesquisa tem importância acadêmica e prática.

A escolha das bacias contribuintes da Lagoa Rodrigo de Freitas se justifica pela sua profunda diferença em relação à Bacia do rio Paraíba do Sul. É assim possível observar o desempenho do IQA_{FAL} em bacias relativamente pequenas, caracterizadas por rios de pequeno porte. Embora o seu trecho superior integre uma unidade de conservação, o seu trecho final é bastante plano e densamente urbanizado (FEEMA, 2008).

Esta escolha se justifica também pela importância sócio-político-ambiental da Lagoa para a cidade do Rio de Janeiro, inclusive como ambiente parte das Olimpíadas Esportivas em 2016. A exemplo de outras lagoas costeiras, a Lagoa Rodrigo de Freitas proporciona serviços de grande importância: área de lazer, beleza cênica e harmonia paisagística, pesca, turismo, entre outros (KAIPPERT, 2004). É importante notar que os rios dos Macacos, Cabeça e Rainha, rios que descem das encostas do Maciço da Tijuca, não lançam mais suas contribuições, diretamente na Lagoa, desde 1922. Contudo, mesmo com os desvios dos cursos desses rios, realizados por Saturnino de Brito, em períodos de chuva intensa, suas águas chegam à Lagoa quando ultrapassam a capacidade de escoamento dos canais extravasores.

Estrutura da dissertação

Além da presente introdução, este trabalho é estruturado em seis capítulos. O Capítulo 1 dedica-se aos conceitos básicos necessários ao desenvolvimento da pesquisa, compreendendo assuntos que variam de qualidade de água e seu monitoramento à descrição de Índices de Qualidade de Água (IQAs).

O Capítulo 2 faz uma breve descrição das bacias dos rios dos Macacos, Cabeça e Rainha – que compõem a bacia de drenagem da Lagoa Rodrigo de Freitas – e da metodologia de caracterização da qualidade de água utilizada.

Os resultados finais do cálculo do IQA_{FAL} bem como os resultados de seus subíndices são objeto do Capítulo 3, que apresenta também uma análise comparativa com o IQA_{CETESB}.

Já o Capítulo 4 continua a discussão do estudo de caso, ampliando a análise para os resultados dos subíndices do IQA_{FAL}, que incluem grupos de parâmetros de qualidade de água com significados semelhantes e complementares, de modo a identificar as variáveis de qualidade de água que são mais determinantes nos resultados do índice.

Ainda nos resultados e discussão, o Capítulo 5, apresenta o comportamento dos sete parâmetros utilizados no cálculo do IQA_{FAL} pretendendo-se acompanhar a evolução espaço-temporal da qualidade dos corpos d'água estudados no período de 2003 a 2010.

Por fim, o último capítulo apresenta as conclusões deste trabalho e as sugestões de trabalhos futuros.

1 CONCEITOS BÁSICOS

Este capítulo apresenta brevemente os conceitos básicos utilizados para o desenvolvimento deste trabalho de pesquisa, a saber: ambientes aquáticos e lóticos; qualidade de água e sua degradação; monitoramento da qualidade da água; e, sobretudo, Índices de Qualidade de Água (IQAs).

1.1 Ambientes aquáticos e lóticos

Os corpos d`água geralmente são classificados por seus três componentes principais: hidrologia, características físico-químicas e biologia (MEYBECK *et al.*, 1992).

Quanto à hidrologia, eles se diferenciam em lóticos e lênticos. Os ambientes lóticos, como os rios, possuem água corrente e tempo de residência de algumas horas a poucas semanas. Já nos ambientes lênticos, representados por lagos naturais, a velocidade da água é pequena ou nenhuma, com tempo de residência variando entre poucas semanas e várias décadas. Entre estes dois tipos de ambientes, existe um intermediário: os lagos artificiais, que são construídos para diferentes usos, e cujo tempo de residência e velocidade dependem tanto de regras operativas e de manejo, quanto das próprias características hidrológicas da bacia hidrográfica (WETZEL, 1981).

Os rios são sistemas complexos de água corrente, que drenam áreas específicas, as quais são denominadas bacias hidrográficas. No passado, o desenvolvimento econômico, social e político foi fortemente influenciado pela disponibilidade e distribuição da água dos sistemas fluviais (MEYBECK *et al*., 1992).

Desde a atmosfera até o mar, todos os corpos d`água são interconectados pelo ciclo hidrológico. Assim, a água constitui um contínuo com diferentes estágios que vão desde a precipitação até as águas salinas dos mares e oceanos (MEYBECK *et al.*, 1992). De acordo com Von Sperling (1995) e Tundisi (2003), as fases do ciclo hidrológico são: precipitação, drenagem ou escoamento, infiltração, evaporação e transpiração (Figura 1).

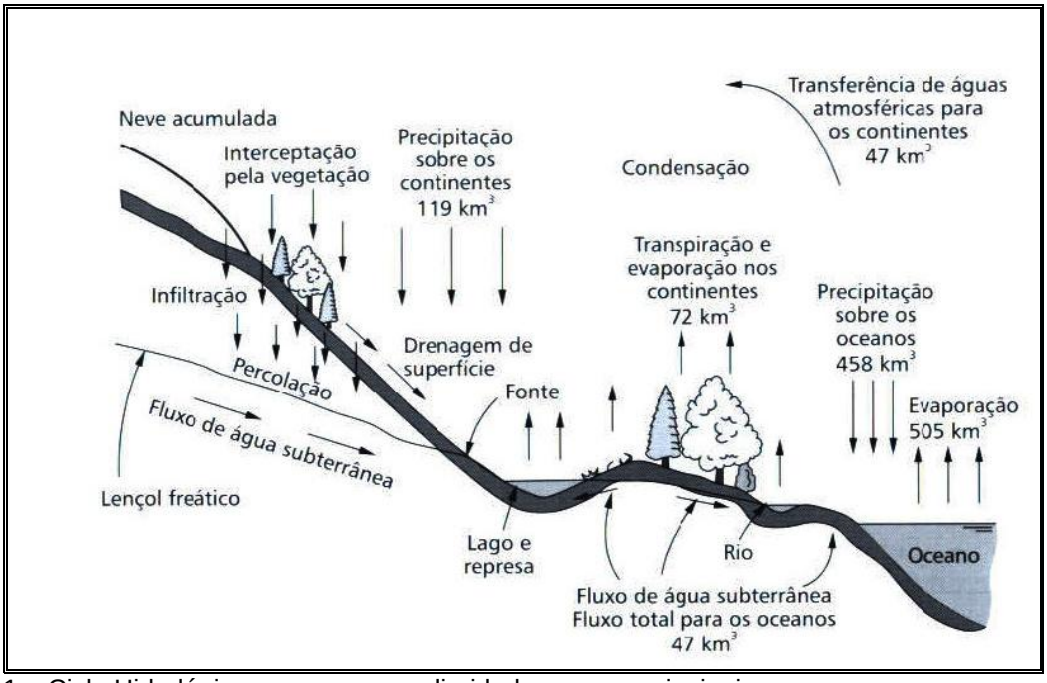


Figura 1 – Ciclo Hidrológico com suas peculiaridades e seus principais processos e a mensuração em km^3 ($x10^3$) dos fluxos de evaporação, precipitação e drenagem para os oceanos
Fonte: Tundisi, 2003

Os ambientes aquáticos, em especial os lóticos, estabelecem interações de fluxo com os ambientes vizinhos, surgindo assim os ambientes de transição ou ecótonos (BUBEL ; CALIJURI, 2003).

A zona ripária de uma microbacia (mata ciliar ou floresta de galeria), que inclui principalmente as margens e as cabeceiras dos cursos de água, caracteriza-se como um *habitat* de extrema dinâmica, diversidade e complexidade. Essa complexidade se verifica através das diferentes relações ecológicas, expressas em termos de inúmeras interações e processos vitais para a manutenção do ecossistema aquático, tais como, suprimento de resíduos vegetais responsáveis por processos biofísicos, suprimento de matéria orgânica dissolvida e particulada, filtragem biológica de nutrientes provenientes dos terrenos mais elevados da microbacia, *habitat* e refúgio da fauna (LIMA, 2003).

A qualidade da água superficial depende do clima, da geomorfologia da região, da vegetação, do tipo de ecossistema aquático e da influência do homem (PORTO, *et al.* 1991).

1.2 Qualidade de água e sua degradação

A água é considerada como um recurso econômico, uma vez que sua escassez impede o desenvolvimento de diversas regiões e, também, é um recurso ambiental, pois a sua alteração adversa pode contribuir para a degradação da qualidade ambiental.

A degradação ambiental afeta, direta ou indiretamente, a segurança, a saúde e o bem-estar da população; as atividades sociais e econômicas; a flora e a fauna; as condições estéticas e sanitárias do meio; e a qualidade dos recursos ambientais (BNDES, 1996).

As atitudes do homem, ao longo do tempo, têm demonstrado negligência com a manutenção do equilíbrio ambiental (MORAES ; JORDÃO, 2002). Entre 1930 a 1990, a população mundial duplicou, enquanto o consumo de água se multiplicou por sete (ASSIS, 1998).

De acordo com a Working With The Earth (2001), uma cidade americana com uma população de um milhão de habitantes consome diariamente, 568.000 toneladas de água, 8.600 toneladas de combustível e 1.800 toneladas de alimento. Este consumo gera: 454.000 toneladas de esgoto, 864 toneladas de poluição atmosférica e 8.600 toneladas de lixo. A continuar esta escalada de consumo e degradação, a ONU estima que a escassez de água potável que atinge dois bilhões de pessoas atualmente, chegue a quatro bilhões de pessoas em 25 anos (ONU, 2002).

Ao longo das últimas décadas, a qualidade da água vem sendo rapidamente deteriorada. Ela é afetada por uma série de fatores externos, naturais – hidrografia, clima, geologia – e, sobretudo, antrópicos, os quais incluem uso e ocupação do solo, lançamento de esgotos sem tratamento, destruição da cobertura vegetal e urbanização sem planejamento (TUNDISI, 2003).

Considera-se que a gestão ambiental e especialmente a gestão de recursos hídricos deve ser integrada (usos múltiplos), em nível de ecossistema (bacia hidrográfica), e preditiva (ou seja, capacidade de antecipação de problemas, desastres e impactos), tendo como principal fundamento o uso sustentável (TUNDISI, 2003). Este uso sustentável deve associar o processo de desenvolvimento à equidade social e à manutenção da capacidade de suporte dos sistemas ambientais (MUÑOZ, 2000).

Existe um consenso entre especialistas em gestão de recursos hídricos de que o comprometimento de nossas reservas hídricas estratégicas, em geral, está associado ao desmatamento para a agricultura (inclusive da mata ciliar), à drenagem de terras alagadas, ao desenvolvimento e ocupação humana, a fontes poluentes de origem industrial, agrícola e doméstica, ao represamento e canalização, às atividades recreativas, à operação de mineração, a projetos de irrigação e à introdução de espécies exóticas, à super-exploração de recursos pesqueiros, entre outros (BAPTISTA et al., 2000).

A seguir, são apresentados, resumidamente, alguns dos principais problemas que afetam a qualidade da água.

O desenvolvimento urbano altera a cobertura vegetal e provoca alteração no ciclo hidrológico natural, pois a vegetação original é substituída por áreas impermeáveis e são introduzidos condutos para escoamento pluvial (TUCCI, 2002); as principais alterações do ciclo hidrológico são:

- redução da infiltração no solo;
- aumento do escoamento superficial, pelo acúmulo de água que deixa de infiltrar;
- redução da evapotranspiração.

O uso da água nas atividades agrícolas concentra-se principalmente na irrigação que, além de exigir grandes volumes de água, constitui-se como um uso do tipo consuntivo. Segundo Telles (2002), 98% do volume de água utilizado na agricultura retorna por evapotranspiração para a atmosfera e 2% são transformados em matéria orgânica, incorporada à cultura. Ainda de acordo com este autor, o uso da água na dessedentação de animais e atividades de limpeza relacionadas à pecuária, propicia o retorno de água em forma líquida para o meio, porém, neste caso, com significativa perda de qualidade, uma vez que entre 60 e 70% retornam sob a forma de urina e outros dejetos.

A deterioração observada na maioria dos rios que atravessa cidades brasileiras se dá pela não existência de coleta e tratamento de esgotos domésticos, que são jogados *in natura* nos rios (TUCCI *et al.*, 2001). Ainda conforme esses autores, em alguns lugares existe rede coletora, porém sem estações de tratamento e, em outros casos, as estações de tratamento existentes não operam com a eficiência desejada, pois existem ligações clandestinas e ligações de esgoto aos sistemas pluviais.

Os esgotos domésticos contêm aproximadamente 99,9% de água e a fração restante inclui sólidos orgânicos e inorgânicos, suspensos e dissolvidos, bem como microrganismos (VON SPERLING, 1995). Dentre os componentes do esgoto estão o nitrogênio e o fósforo.

As águas pluviais são outra importante fonte de poluição dos corpos hídricos. De acordo com Tucci et al. (2001), poucas cidades se preocupam com esta fonte de poluição, uma vez que o esgoto doméstico é o maior problema. Porém, durante uma cheia urbana, a carga poluente da drenagem pluvial pode chegar a até 80% da carga do esgoto doméstico.

A qualidade da água da rede pluvial depende de vários fatores: limpeza urbana e sua freqüência; intensidade da precipitação e sua distribuição espacial e temporal; época do ano e tipo de uso da área urbana. Os principais indicadores da qualidade da água são os parâmetros que caracterizam a poluição orgânica e a concentração de metais (TUCCI, 2002).

O escoamento da água da chuva carrega materiais orgânicos e inorgânicos suspensos ou solúveis aos mananciais, aumentando significativamente sua carga de poluentes. As origens desses poluentes são diversificadas, e podem ser: abrasão e desgaste das vias públicas pelo tráfego veicular, o lixo acumulado nas ruas e calçadas, resíduos orgânicos de pássaros e animais domésticos, atividades de construção, resíduos de combustível, óleos e graxas automotivos, poluentes atmosféricos, etc. (BOLLMANN, 2003).

A contaminação dos aqüíferos é um problema ainda pouco avaliado no Brasil, mas o uso generalizado de fossas e, com a implantação de aterros sanitários e de pólos petroquímicos, os aqüíferos tenderão a se deteriorar ainda mais (TUCCI *et al*., 2001).

De acordo com Tundisi (2003), a água subterrânea é utilizada frequentemente para abastecimento doméstico, irrigação em áreas rurais e para fins industriais, devido a sua disponibilidade próxima ao local de uso e também por sua qualidade. Contudo, sua contaminação contínua por substâncias químicas, tais como, nitrato, cloro, materiais radioativos, substâncias orgânicas, metais pesados e hidrocarbonetos, pode comprometer tanto o uso desta água, quanto os corpos de água superficiais formados e mantidos pela água subterrânea (REBOUÇAS, 2002).

Os efluentes industriais têm características altamente variáveis e podem incluir nutrientes, sólidos em suspensão, bactérias, materiais que consomem

oxigênio e toxinas, porém dentre estes a carga orgânica, geralmente expressa em DQO (Demanda Química de Oxigênio) e os sedimentos em suspensão, são os mais impactantes (PERRY; VANDERKLEIN, 1996).

No caso de efluentes industriais, a indústria alimentícia é considerada a mais significativa em termos de contribuição de carga orgânica e nutrientes (ESTEVES, 1998).

Um dos principais processos causadores da degradação da qualidade das águas em lagos, reservatórios ou represas tem sido a eutrofização. A eutrofização natural, que pode ser considerada como um processo em escala geológica, difere sensivelmente do fenômeno de aceleração antrópica do processo de eutrofização, que pode ser mensurado em décadas. Essa aceleração está associada ao aumento de nutrientes das águas em função de substâncias fertilizantes que propiciam o crescimento excessivo das plantas aquáticas.

O processo de eutrofização pode ocorrer também em rios, embora seja menos frequente, devido às condições ambientais serem mais desfavoráveis para o crescimento de algas e outras plantas, como turbidez e velocidades elevadas (VON SPERLLING, 1996).

O nitrogênio, o fósforo e a sílica são apontados como principais nutrientes responsáveis pelo processo, no entanto, outros fatores externos, como a luz e a temperatura da água, podem influenciar ou atuar como controladores do fenômeno da eutrofização (TOLEDO *et al*., 1984; WETZEL, 1993).

Portanto, é de suma importância a correta identificação dos efeitos das ações feitas pelo homem sobre os sistemas biológicos, principalmente para podermos distinguir as variações naturais que ocorrem ao longo das estações do ano, por exemplo, daquelas induzidas por ações antropogênicas, através de suas alterações no funcionamento do ecossistema (CAIRNS Jr *et al*., 1993).

1.3. Monitoramento da qualidade da água

No âmbito da Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento (CNUMAD) em 1992, explicitado na Agenda 21, aumentou o reconhecimento mundial sobre a importância do monitoramento do meio ambiente, com o objetivo de ter uma compreensão segura das mudanças globais (diagnóstico

e prognóstico), e para a orientação nas decisões sobre o uso e ordenação do território (Ministério do Meio Ambiente, 2001b).

O monitoramento é um dos fatores determinantes no processo de gestão ambiental, uma vez que propicia uma percepção sistemática e integrada da realidade ambiental. A produção de informações e a sua disponibilização à comunidade científica, ao público em geral e às diversas instâncias decisórias, atuando em consonância com as disposições da Lei Estadual 855, de 17/06/86, que determina ao Poder Público que por meio do órgão de controle ambiental, divulgue e mantenha permanentemente disponível as informações relativas à qualidade ambiental do Estado (FEEMA, 2001).

O monitoramento de qualidade de água é uma ferramenta importante e imprescindível tanto como suporte ao controle das atividades poluidoras quanto como fonte de informações, uma vez que consiste no acompanhamento sistemático dos aspectos qualitativos e quantitativos das águas, permitindo, reunir um conjunto de informações necessárias à avaliação das ações efetivadas e ao direcionamento de decisões futuras (FEEMA, 2001).

Ao se elaborar um Programa de Monitoramento devem-se:

- Definir os objetivos do monitoramento;
- Identificar os indicadores de qualidade ambiental a serem privilegiados, com base no conhecimento de cada corpo d’água;
- Selecionar um local de amostragem que seja representativo, a fim de se obter as informações requeridas;
- Definir um Plano de Monitoramento com base nas Metodologias, Normas e Padrões de qualidade de água vigentes;
- Verificar a capacidade da análise em laboratório(s) credenciado(s) para realizar as medições ambientais requeridas;
- Realizar a amostragem de modo que a amostra seja o mais representativa possível, obedecendo a normas técnicas vigentes;
- Interpretar os dados coletados e analisados;
- Desenvolver um banco de dados;
- Formular modelos conceituais e/ou matemáticos - comportamento do ecossistema em relação a parâmetros e fenômenos de interesse;
- Disponibilizar as informações;

- Avaliar a viabilidade econômica para a realização e permanência do programa de monitoramento.

Os Programas de Monitoramento podem ser classificados de acordo com o seu propósito, sendo divididos em Programa de Monitoramento para o Planejamento e Programa de Monitoramento para o Controle (RIGUETTI, 2009).

O programa de monitoramento para o planejamento inclui: informações sobre a qualidade da água disponível, visando satisfazer as necessidades futuras; prognóstico sobre os efeitos de novas outorgas sobre a qualidade das águas; prognóstico sobre os efeitos do lançamento de efluentes sobre a qualidade das águas e a avaliação das variações hidrológicas dos rios (escoamento) em função de obras hidráulicas (represas, barragens, etc.). E o programa de monitoramento para o controle inclui: identificação das áreas impactadas e avaliação da urgência da implantação de planos de recuperação; proteção dos mananciais, através da avaliação das medidas de controle implantadas ou com a constatação da melhoria da qualidade das águas; e determinação, em períodos definidos, das variações na qualidade das águas, a fim de se identificar tendências e, consequentemente, propor medidas de controle.

Pode-se considerar, de um modo geral, que os objetivos de um programa de monitoramento podem ser destinados tanto para a avaliação da qualidade da água e sua adequação aos diversos usos, quanto para indicar a necessidade de estudos complementares, que visem a subsidiar projetos de recuperação de áreas degradadas.

O processo de acompanhamento da qualidade da água nos corpos d’água se dá a partir da coleta de amostras de águas e sedimento em locais e datas predeterminados, segundo um plano de amostragem também predeterminado. Essas amostras são enviadas para análises em laboratórios, e os resultados obtidos no monitoramento são armazenados em um banco de dados, a partir do qual recebem um tratamento estatístico, que embasará a elaboração de diagnósticos específicos que, por sua vez, se constituirão em uma informação que será disponibilizada aos diversos segmentos da sociedade.

Existe também a coleta feita em estações automáticas que medem diretamente o valor das variáveis de qualidade de água e podem enviar automaticamente os resultados para um computador remoto.

A avaliação da qualidade da água tem como referência básica as características que a aproximam o máximo possível de seu estado natural, ou seja, antes de ser modificada em consequência de intervenções causadas pelo homem.

De acordo com a gestão dos recursos hídricos, a qualidade esperada para uma determinada água depende do uso que se deseja para a mesma, ou seja, pode variar. Uma água destinada exclusivamente à navegação e à geração de energia terá que atender a critérios de qualidade de água diferentes e certamente menos restritivos do que o exigido para a qualidade da água destinada ao consumo humano. Em contrapartida, para manter o equilíbrio ecológico necessário à preservação da fauna e da flora de um determinado corpo d'água, por exemplo, é preciso atender aos critérios de qualidade quanto às substâncias capazes de causar eutrofização e o consequente crescimento descontrolado de microalgas.

Portanto, pode-se dizer que o monitoramento da qualidade da água, aliado às medidas de melhoria implantadas, beneficia, de modo geral, toda a população, na medida em que incide sobre:

- A saúde da população (água de abastecimento e banho de mar);
- A economia do Estado (turismo, pesca industrial e artesanal, comércio, investimentos na área ambiental, entre outros);
- O lazer (banho de mar e esportes de contato primário e secundário).

1.4. Índices de qualidade de água

Todo programa de monitoramento da qualidade da água gera, ao longo do tempo e do espaço, um grande número de informações e resultados que precisam ser transformados em um formato sintético, a fim de descrever e representar de forma compreensível e representativa o estado do corpo d'água e suas tendências. A informação assim produzida tende a ser utilizada como ferramenta norteadora na tomada de decisões relativas aos recursos hídricos pelos atores institucionais de uma bacia hidrográfica, sejam eles a população, as prefeituras, os órgãos de controle ambiental, os comitês das bacias hidrográficas e as organizações não-governamentais (GASTALDINI ; SOUZA, 1994).

Uma forma de agregar os dados gerados em programas de monitoramento se dá através da proposição de indicadores, que podem ser considerados como uma

característica específica da água de ordem física, química ou biológica, como por exemplo, oxigênio dissolvido, carga de fósforo total e outros (BOLLMAN ; MARQUES, 2000).

Um dos fatores que mais dificulta a utilização e, até mesmo, a criação de indicadores, é o fato de existirem usos múltiplos da água. De modo geral, pode-se atribuir valores individuais de qualidade ambiental, favorecendo o surgimento de escalas diferenciadas para uma mesma variável (BOLLMAN ; MARQUES, 2000). Quando se agregam dois ou mais indicadores específicos de qualidade na avaliação de um determinado ecossistema, passa-se a fazer o uso de Índices.

Um índice de qualidade de água fornece uma visão sintetizada das condições do ambiente aquático para um determinado propósito e pode refletir as alterações ocorridas ao longo do tempo. Dentre as vantagens proporcionadas por seu uso, podemos citar: a habilidade de associar diferentes variáveis analisadas em um único número, a facilidade de se acompanhar e associar as variações hidrológicas ao longo do espaço ou tempo e sua maior eficácia em transmitir um diagnóstico (Ministério do Meio Ambiente, 2001b).

Cabe salientar que um índice de qualidade de água é um número adimensional que mostra, de forma objetiva, a qualidade da água para os seus diversos fins. Esse número é obtido por meio de metodologias específicas, através da combinação de dados físico-químicos, bacteriológicos e químicos (Ministério do Meio Ambiente, 2001b).

Uma dificuldade na elaboração de um índice de qualidade das águas é sintetizar, em um único número, uma realidade complexa, onde inúmeras variáveis ambientais têm influência (SILVA ; JARDIM, 2006).

Como os índices são dependentes da escolha das variáveis que constituem os indicadores das alterações da qualidade da água, eles apresentam certo grau de subjetividade. Os índices baseados em modelos estatísticos favorecem a seleção dos indicadores mais representativos, porém não se deve generalizar, já que cada corpo d’água possui sua peculiaridade (HAASE *et al*., 1989).

Destaca-se ainda que não se deve fazer uso exclusivo de índices de qualidade das águas em detrimento de uma análise mais detalhada dos dados gerados em um monitoramento ambiental, muito menos considerar somente um índice como uma ferramenta gerencial para os corpos d’água.

Para melhor entendimento, serão descritos de forma breve alguns índices tradicionalmente usados e, posteriormente, será apresentado um resumo do índice de qualidade de água para ambiente lótico, o IQA_{FAL}, utilizado nesta dissertação.

1.4.1 Índices de Qualidade de Água Tradicionais

Um dos primeiros índices de qualidade de água foi o *Water Quality Index* – WQI, desenvolvido pela National Sanitation Foundation (NSF, 2007) em 1970, a partir de uma pesquisa que selecionou variáveis de qualidade de água com base na opinião de especialistas.

Em 1976, a Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental – CETESB modificou o WQI da NSF, criando um índice a partir do produtório ponderado de nove variáveis analíticas de qualidade de água, conforme a Equação 1. O conjunto destes nove parâmetros e respectivos pesos foi escolhido a partir de uma pesquisa junto a especialistas em qualidade de água (Tabela 1) (CETESB, 2010).

O Índice de Qualidade de Água assim desenvolvido pela CETESB – IQA_{CETESB} – tem como propósito avaliar a qualidade de água para fins de abastecimento público e reflete principalmente a contaminação do ambiente aquático pelo lançamento de esgotos domésticos; seu valor numérico varia de 0 a 100.

$$\mathbf{IQA_{CETESB}} = \prod_{q=i}^{n} q_i^{\,w_i} \qquad (1)$$

Onde:

IQA: índice de qualidade de água varia de um número de 0 a 100.

qi: qualidade do i-ésimo parâmetro, um número entre 0 e 100, obtido da respectiva "curva média de variação de qualidade", em função de sua concentração ou medida.

wi: peso correspondente ao i-ésimo parâmetro, um número entre 0 e 1, atribuído em função da sua importância para a conformação global de qualidade. A soma dos pesos wi é igual a 1.

Tabela 1 – Parâmetros do IQA_{CETESB} e respectivos pesos

PARÂMETROS (q)	PESOS RELATIVOS
1 – Oxigênio Dissolvido	0,17
2 – Coliformes Termotolerantes	0,15
3 – pH	0,12
4 – Demanda Bioquímica de Oxigênio	0,10
5 – Temperatura	0,10
6 – Nitrogênio Total	0,10
7 – Fósforo Total	0,10
8 – Turbidez	0,08
9 – Resíduo Total	0,08

Fonte: CETESB, 1976 *apud* Pessoa, 2010

Assim como a CETESB, que criou o IQA_{CETESB}, outras instituições de gestão ambiental no Brasil adaptaram o WQI da NSF às suas necessidades com algumas diferenças nos parâmetros utilizados, na curva de normalização dos parâmetros, nos pesos atribuídos aos parâmetros e na classificação dos valores do IQA em categorias.

O Instituto Mineiro de Gestão das Águas – IGAM utilizou os mesmos parâmetros do índice da NSF e determinou através de regressões polinomiais, as equações a serem utilizadas para o cálculo do seu índice de qualidade de água (IGAM, 2005). O índice utilizado pelo IGAM é semelhante ao da CETESB, com ajustes nas equações que normalizam os valores de entrada de cada parâmetro e com a categorização dos resultados finais em diferentes faixas de valores.

Silva e Jardim (2006) propõem um índice voltado para a proteção das comunidades aquáticas que, além de explicitar a necessidade da manutenção da vida aquática, alerta para que a manutenção dessa vida seja norteadora do controle de fontes emissoras de poluentes. Neste índice são utilizadas apenas duas variáveis de qualidade de água, amônia total e oxigênio dissolvido.

Na análise dos diversos índices, as variáveis de qualidade de água mais comuns são as seguintes: Oxigênio Dissolvido – OD, Demanda Bioquímica de Oxigênio – DBO, Fósforo Total, Nitratos e os Coliformes Termotolerantes.

De acordo com Fernández *et al*. (2004), é difícil estabelecer um único índice de qualidade de água como uma solução definitiva. Cada instituição, entretanto, deve buscar uma metodologia própria que atenda às circunstâncias em que deseja aplicar o seu índice.

1.4.2 Lógica nebulosa e Índices de qualidade de água

O termo “lógica nebulosa” ou *Fuzzy Logic* pode ser usado em vários sentidos. Em sentido estreito, lógica nebulosa refere-se aos sistemas que generalizam a lógica clássica bivariada para raciocínio sob incertezas. Em sentido mais amplo, lógica nebulosa refere-se a todas as teorias e tecnologias que utilizam conjuntos nebulosos ou *Fuzzy Sets*, conjuntos estes de classes com fronteiras indefinidas (LERMONTOV, 2009).

A lógica nebulosa estende a lógica tradicional com a introdução do conceito da verdade parcial, permitindo uma pertinência simultânea e parcial em vários conjuntos, em vez da inclusão total em um conjunto definido.

Na teoria clássica dos conjuntos, a fronteira entre um conjunto e outro é nítida: o elemento pertence a um conjunto ou a outro conjunto. A transição de um conjunto ao outro é abrupta, como a passagem direta do preto para o branco.

Nos conjuntos nebulosos, esta transição é gradual. Um elemento vai gradualmente deixando de pertencer a um conjunto para pertencer ao outro. Esta passagem pode ser descrita como ir do preto ao branco passando por infinitos graus de cinzas intermediários.

Tome-se, por exemplo, a altura dos homens adultos da cidade do Rio de Janeiro. Na teoria clássica dos conjuntos a altura de homens adultos segue o seguinte padrão da Tabela 2.

Tabela 2 – Classificação em estatura dos homens adultos, de acordo com a altura (m)

Conjuntos	Altura (m)
Pessoas Baixas	≤ 1,5
Pessoas Medianas	1,70 ≤ altura ≤ 1,6
Pessoas Altas	≥ 1,75

Até que ponto uma pessoa com 1,70m de altura é considerada de estatura mediana e não alta? Nos conjuntos tradicionais, essa padronização é precisa, mas na lógica nebulosa é possível assumir a relatividade ou imprecisões de padrões de referência.

Tal como definidos, os conjuntos nebulosos são apropriados para representar noções imprecisas, frequentemente utilizadas no cotidiano, como, por exemplo, alto, quente, frio, rápido, etc. É a função de pertinência que define a fronteira desses conjuntos. Ela permite converter informações cujos intervalos de aceitação de valores e limites podem ou não ser bem definidos, subjetivos ou até incompletos e expressá-los em um formato matemático, sendo, portanto, adequada para uma modelagem ambiental de problemas que contenham informações desta natureza (SILVERT, 1997 e 2000).

A lógica nebulosa vem sendo estudada e aplicada na integração de variáveis ambientais, por exemplo, em estudos de qualidade de rios e lagos (LEE *et al.*, 1997) e para classificação de praias (BALAS *et al.*, 2004).

1.4.3 $IQA_{FAL:}$ Índice de Qualidade de Água para ambiente lótico, baseado em lógica nebulosa

O Instituto Estadual do Ambiente – INEA, através de sua Gerência de Qualidade de Água – GEAG, adotou recentemente o Índice de Qualidade de Água para ambiente lótico, baseado em lógica nebulosa, o IQA_{FAL} (PESSOA, 2010). Ele foi desenvolvido com base no conhecimento e experiência em qualidade de água de técnicos do INEA, com diferentes formações e envolveu ampla discussão com especialistas de outras instituições.

No processo de desenvolvimento do IQA_{FAL}, foram testadas e avaliadas diferentes combinações de variáveis de qualidade de água, funções de pertinência, subíndices e base de regras, em processo interativo e iterativo.

A proposta final do IQAFAL utiliza sete variáveis de qualidade de água na sua formulação (Tabela 3):

- Duas variáveis biológicas que buscam descrever o equilíbrio do ecossistema aquático;

- Duas variáveis químicas que representam o potencial de eutrofização do ambiente, assim como o grau de contaminação por esgotos, chamadas de variáveis nutrientes;
- Duas variáveis da dinâmica do oxigênio que representam sua disponibilidade e consumo;
- Uma variável bacteriológica que é indicadora do grau de contaminação da água por fezes.

Tabela 3 - Variáveis de qualidade de água utilizadas no cálculo do IQA_{FAL}

TIPO	NOME	MÉTODO
Biológicas	Índice de Diversidade de Shannon-Weaver	(SHANNON, 1948)
	Densidade de Cianobactérias	Câmera de Utermohl e quantificação por campos aleatórios
Nutrientes	Fósforo Total	Colorimetria
	Nitrogênio Amoniacal	Colorimetria
Oxigênio	Oxigênio Dissolvido (OD)	Oxímetro
	Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)	Winkler modificado
Bacteriológica	Coliformes Termotolerantes	Colillert

Fonte: Pessoa, 2010

Os organismos fitoplanctônicos foram escolhidos como descritores biológicos das condições da água no cálculo do IQA_{FAL}. Duas variáveis relativas ao fitoplâncton (número de taxa identificadas e o número de indivíduos de cada táxon) são aplicadas no cálculo do Índice de Diversidade de Shannon-Weaver, o qual é usado diretamente como a primeira variável biológica de qualidade de água na formulação do IQA_{FAL}. O número de células de cianobactérias, um grupo específico de organismos planctônicos, é a segunda variável biológica de qualidade de água utilizada na formulação do IQA_{FAL}.

As rápidas respostas que a comunidade fitoplanctônica pode expressar às alterações ambientais (REYNOLDS, 1997; PADISÁK *et al.*, 2006) e as suas florações tóxicas que representam um risco a mais para o ambiente, podendo afetar a biota local e a saúde pública (AZEVEDO, 1998), foram alguns dos argumentos propostos pelos especialistas do INEA para justificar a escolha dos organismos fitoplanctônicos como representativos das condições biológicas da água no IQA_{FAL}.

O Índice de Diversidade de Shannon-Weaver é bastante utilizado em estudos ecológicos e depende da riqueza de espécies (número de espécies ou taxa) assim como da equitabilidade (uniformidade com que o numero de indivíduos é distribuído em relação às espécies ou taxa). A presença de cianobactérias representa um risco real para a saúde pública em função das potentes toxinas, de efeito hepatotóxico e neurotóxico para o homem, que são capazes de produzir (CHORUS; BARTRAM, 1999). De acordo com o proposto pela Portaria 518 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2004), é recomendado o monitoramento desses organismos em águas destinadas ao abastecimento público, no sentido de acompanhar a evolução qualitativa e quantitativa dessa comunidade e, portanto, orientar condutas apropriadas.

Os parâmetros Fósforo Total e Nitrogênio Amoniacal foram escolhidos para compor as variáveis denominadas nutrientes. Tanto o “fósforo total” quanto a “amônia” são importantes indicadores de despejo de esgotos sanitários. Os detergentes de uso doméstico são a principal fonte de fósforo e as indústrias químicas, em geral, principalmente as produtoras de fertilizantes e pesticidas, que podem apresentar um aporte significativo de fósforo para os corpos d’água. O nitrogênio amoniacal (ou amônia) é uma das formas reduzidas do nitrogênio. Algumas atividades industriais, como a química, a petroquímica e a farmacêutica também podem contribuir para o aumento da presença de nitrogênio nas águas.

O fósforo e o nitrogênio são macronutrientes associados a importantes processos do metabolismo primário dos organismos vivos, e concentrações altas destas substâncias propiciam a eutrofização do corpo d’água, processo que se caracteriza por um enriquecimento do meio, ou seja, o meio torna-se mais fértil e há uma excessiva proliferação de algas (ESTEVES, 1988).

As variáveis escolhidas associadas à dinâmica do oxigênio foram: oxigênio dissolvido (OD) e demanda bioquímica de oxigênio (DBO).

O OD na água é proveniente, principalmente, das atividades metabólicas dos organismos fotossintetizantes. A troca de gases com a atmosfera representa uma fonte adicional. A diferença de pressão, a temperatura e a salinidade alteram sua solubilidade. As características hidráulicas do meio determinam a taxa de reintrodução de oxigênio dissolvido através da superfície. Cursos d’água encachoeirados apresentam maior taxa de aeração do que represas. O oxigênio dissolvido é um dos mais importantes indicadores de qualidade de água, uma vez que sua concentração é determinante para a vida aquática aeróbia.

A DBO indica indiretamente a quantidade de matéria orgânica na água. Ela é definida como a quantidade de oxigênio necessária para oxidar a matéria orgânica por decomposição microbiana aeróbia para uma forma inorgânica estável. A origem mais comum da DBO é o lançamento de esgotos sanitários no corpo d'água. Níveis muito altos de DBO podem acarretar um consumo excessivo do oxigênio dissolvido, o que pode levar a água a condições anóxicas (concentrações de oxigênio muito baixas, ou até mesmo nenhuma).

Os Coliformes Termotolerantes são um importante indicador de contaminação por fezes de seres de sangue quente. A presença desses organismos é um forte indício de lançamento de esgoto sanitário não tratado no corpo d'água. A presença de coliformes termotolerantes na água está diretamente ligada à possibilidade de contaminação por doenças de veiculação hídrica. Este é um importante indicador de risco para saúde pública, por isso foi escolhido para compor a variável bacteriológica.

As variáveis biológicas (Índice de Diversidade de Shannon-Weaver e cianobactérias), as variáveis nutrientes (fósforo total e nitrogênio amoniacal) e a variável DBO foram particionadas em cinco conjuntos nebulosos para os quais foram atribuídos os seguintes termos: PÉSSIMO, RUIM, REGULAR, BOM e EXCELENTE. A variável OD foi igualmente particionada em cinco conjuntos nebulosos, com termos diferentes: ANOXIA, RUIM, REGULAR, BOM e SUPERSATURAÇÃO. Por fim, a variável coliforme termotolerante foi particionada em quatro conjuntos nebulosos: CRÍTICO, RUIM, REGULAR e BOM (PESSOA, 2010).

Vale ressaltar que os limites dos conjuntos nebulosos e a função de pertinência correspondente foram determinados a partir da ampla discussão entre especialistas, tendo como referência seus conhecimentos e experiências profissionais associados aos valores indicados pela legislação CONAMA 357/2005 (BRASIL, 2005) com padrões para água doce de classe II.

A modelagem usando-se lógica *fuzzy* não costuma ser prática com mais de quatro variáveis de entrada, devido ao crescimento exponencial das regras, o que torna difícil a criação e o gerenciamento das mesmas. Para contornar essa limitação, costuma-se dividir as variáveis de entrada em sistemas *fuzzy* intermediários e usar a saída desses sistemas como entrada para o sistema final.

O IQA_{FAL} usa apenas subsistemas com duas variáveis de entrada, no máximo. Por isso, para efetuar a modelagem do IQA_{FAL}, foi necessário combinar as

sete variáveis de qualidade de água em grupos de dois, dando origem aos subíndices que, por sua vez, foram usados como entrada para o índice final (Figura 2).

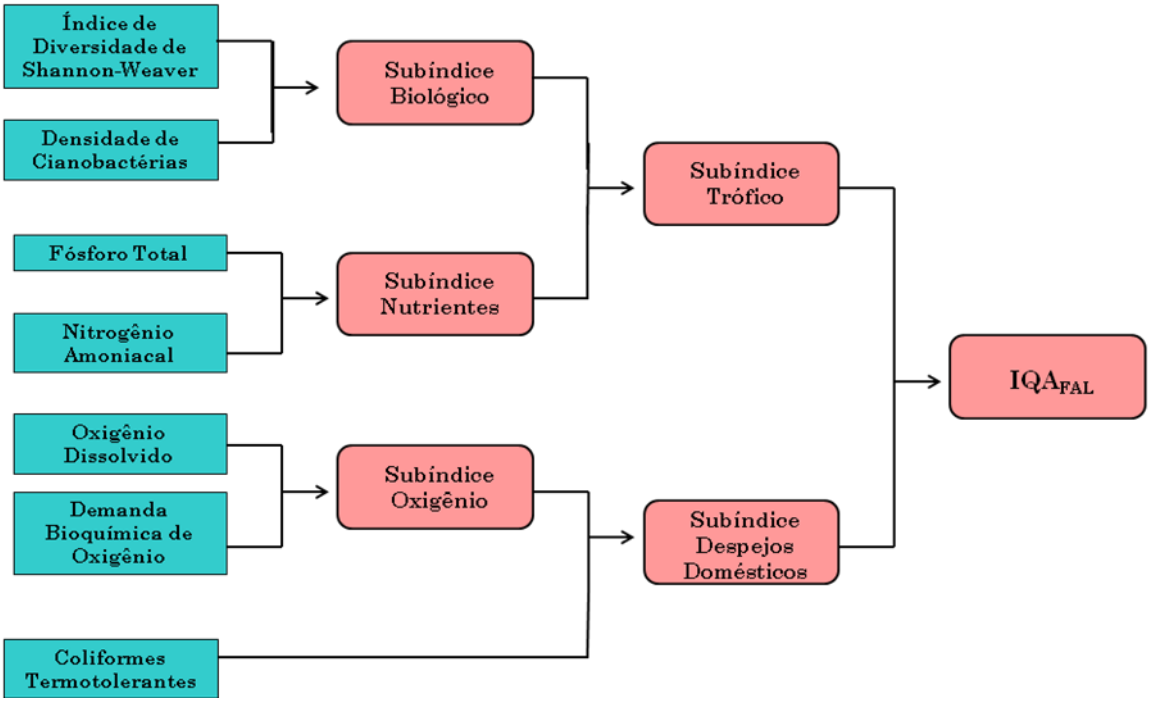


Figura 2 - Fluxograma dos subíndices que formam o IQA$_{FAL}$
Fonte: Pessoa, 2010

O universo de discurso do IQA$_{FAL}$, assim como todos os seus subíndices, vai de 0 a 100, onde 0 representa a pior qualidade e 100 a melhor qualidade. Dentro deste intervalo foram estabelecidos cinco conjuntos nebulosos para os quais foram atribuídas as expressões PÉSSIMO, RUIM, REGULAR, BOM e EXCELENTE; os piores resultados são os valores contidos no conjunto nebuloso PÉSSIMO e os melhores resultados encontram-se no conjunto nebuloso EXCELENTE.

Os termos linguísticos utilizados no IQA$_{FAL}$ e nos seus subíndices foram determinados com base nas categorias utilizadas pelo Instituto Mineiro de Gestão das Águas – IGAM, que adaptou o IQA$_{CETESB}$ e dividiu a extensão de variação desse índice em cinco categorias (IGAM, 2005) (Tabela 4).

Tabela 4 - Categorias do IQA_{FAL}

Faixa	Nível de Qualidade
90 ≤ IQA ≤ 100	EXCELENTE
70 ≤ IQA ≤ 90	BOM
50 ≤ IQA ≤ 70	REGULAR
25 ≤ IQA ≤ 50	RUIM
0 ≤ IQA ≤ 25	PÉSSIMO

Fonte: Pessoa, 2010

A Metolodogia IQA_{FAL} para ambientes lóticos, assim concebida, constitui, portanto, a base principal deste trabalho, cujo objeto e metodologia de pesquisa são descritos no capítulo seguinte.

2. ÁREA DE ESTUDO: BREVE DESCRIÇÃO E METODOLOGIA DE CARACTERIZAÇÃO DA QUALIDADE DE ÁGUA

Neste capítulo é apresentada uma breve descrição da área de estudo, composta pela Bacia Hidrográfica da Lagoa Rodrigo de Freitas, e a metodologia adotada.

Para efeito de texto, foi adotado nesta dissertação, o título de “Lagoa”, como ela é popularmente conhecida, apesar de se tratar, de fato, de uma “Laguna”. Já que de acordo com geógrafos e ecólogos, os corpos hídricos alimentados exclusivamente por água doce – como as lagoas no interior do país – são completamente diferentes dos corpos hídricos costeiros, que recebem influência do mar e são denominados de lagunas.

2.1. Área de estudo

Os trabalhos de pesquisa compreenderam as bacias contribuintes da Lagoa Rodrigo de Freitas. A sua região hidrográfica abrange cerca de 23,5 Km^2, compreendendo parcial ou integralmente os bairros de Ipanema, Lagoa, Humaitá, Jardim Botânico e Gávea.

Delimitada ao norte pela Serra da Carioca e ao sul pelo Oceano Atlântico, a bacia pode ser dividida em dois compartimentos geomorfológicos distintos. De um lado, o Maciço Costeiro, composto pelas encostas que drenam os rios que descem do Maciço da Tijuca com seu relevo acidentado, declividades acentuadas e picos que, como o Morro do Corcovado, chegam a atingir quase 800 metros de altitude; e por outro lado, uma planície costeira imprensada entre a montanha e o mar, onde afloram alguns maciços rochosos cujas encostas despencam, de forma abrupta, sobre as partes planas (Figura 3).

A área da bacia passou por muitas transformações ao longo dos séculos. A faixa à beira-mar, a orla da Lagoa e as partes mais baixas das montanhas foram intensamente ocupadas pelo processo de urbanização, intensificado a partir da segunda metade do século XX.

Figura 3 – Serra da Carioca, parte integrante do Maciço da Tijuca, e Lagoa Rodrigo de Freitas, vista a partir das imagens do Google Earth

É importante destacar que os rios dos Macacos, Cabeça e Rainha, rios que descem das encostas do Maciço da Tijuca, lançavam, até 1922, suas contribuições na Lagoa. Se, nos períodos de seca comuns no inverno, esses rios eram apenas filetes delgados de água, quando começavam as chuvas de verão eles tornavam-se caudalosos, ocupando várzeas e formando bacias de acumulação nas margens rasas da Lagoa.

Atualmente, esses rios não chegam mais à Lagoa, por causa das obras de saneamento de Saturnino de Brito[3], em que seus cursos foram alterados e suas águas são, na maior parte do ano, lançadas no mar através do Emissário Submarino de Esgotos de Ipanema.

Apesar disto, o estudo utilizou estes rios (Figura 4), porque mesmo com o desvio, as águas destes rios chegam à Lagoa nos períodos de chuva intensa, pois ultrapassam a capacidade de escoamento do Canal do Jockey – Avenida Visconde de Albuquerque, ou seja, apesar dos cuidados no gerenciamento das comportas, os extravasamentos para a Lagoa se repetem até os dias de hoje.

[3] Francisco Rodrigues Saturnino de Brito foi o engenheiro sanitarista brasileiro, que realizou alguns dos mais importantes estudos de saneamento básico e urbanismo em várias cidades do país, sendo considerado o "pioneiro" da Engenharia Sanitária e Ambiental no Brasil.

Figura 4 – Bacia Hidrográfica da Lagoa Rodrigo de Freitas formada pelos rios dos Macacos, Cabeça e Rainha, vista a partir das imagens do Google Earth

Estas bacias são relativamente pequenas, caracterizadas por rios de pequeno porte, possuindo dois trechos bem distintos. O trecho superior, com forte declividade e vegetação mais densa, o qual integra uma Unidade de Conservação, e o trecho final que é bastante plano e densamente urbanizado (FEEMA, 2001).

Comparando-se as três unidades, a bacia do rio Cabeça é a de menor área, representando a metade da bacia do rio Rainha e a quarta parte da bacia do rio dos Macacos. A pluviosidade média destas bacias contribuintes é de cerca de 1.600 - 1.800 mm anuais na porção inferior, aumentando para uma faixa de 1.800 - 2.000 mm/ano na porção média e ultrapassando 2.000 mm anuais na parte superior (FEEMA, 2008).

Cabe destacar, ainda, que na região de estudo, existe a presença de duas Unidades de Conservação, o Parque Nacional da Tijuca e o Jardim Botânico do Rio de Janeiro, inseridas em parte das bacias de drenagem dos rios Cabeça e dos Macacos. Por outro lado, a bacia do rio Rainha, desde a proximidade de sua nascente até a foz, encontra-se em região bastante urbanizada, com residências, condomínios fechados e comunidades de baixa renda, a exemplo da comunidade da Rocinha - vertente Gávea (Figura 5).

Figura 5 – Sistemas de rios da bacia de drenagem da Lagoa Rodrigo de Freitas com suas áreas especiais de conservação ambiental e favelas urbanas, vista a partir das imagens do Google Earth

Apresenta-se a seguir uma breve caracterização das três bacias contribuintes utilizadas neste estudo.

2.1.1 Rio dos Macacos

O rio dos Macacos era o principal contribuinte da Lagoa, e seu curso d'água percorria uma distância de 4,6 Km até desaguar na Lagoa. O ponto culminante desta bacia é o Pico da Carioca, com 784 m de altitude (Figura 6). Suas nascentes são próximas à Mesa do Imperador, no alto dos morros dos Queimados e Sumaré, que se encontram na cota de 425 m de altitude, aproximadamente, dentro do Parque Nacional da Tijuca. No trecho mais urbanizado, o rio desce próximo à Rua Pacheco Leão, entrando depois no Jardim Botânico. Este rio drena os bairros do Jardim Botânico, Horto e Alto da Boa Vista, com área de drenagem em torno de 7,2 Km², compreendendo vários tributários: Riacho Pai Ricardo, Córrego Xaxim, Rio do Ouriço, Riacho Sete Quedas e Riacho Andaime (KAIPPERT, 2004).

Figura 6 - Vista parcial da Vertente Sul da Serra da Carioca –
Área drenada pelo Rio dos Macacos
Modificado por Maurício Soares

O rio dos Macacos apresenta uma série de problemas ao longo do seu curso, sendo incorporadas ao seu trajeto contribuições da drenagem natural, micro-drenagens pluviais contaminadas e, até mesmo, lançamentos diretos de esgotos sanitários *in natura* provenientes de ligações irregulares, verificando-se o seu gradual comprometimento, principalmente, nos dois trechos finais, onde se registram as maiores alterações (FEEMA, 2004a).

O seu deságue junto ao rio Cabeça é desviado em seu trecho final na Rua General Garzon, através do acionamento de uma comporta da Lagoa para o canal do Jockey, seguindo assim até o Emissário Submarino de Esgotos de Ipanema (FEEMA, 2004a).

2.1.2 Rio Cabeça

O Rio Cabeça nasce próximo ao Hotel das Paineiras, nos contrafortes do morro do Corcovado, aproximadamente na cota 425 m (KAIPPERT, 2004), e percorre uma distância de 2,7 Km até desaguar no canal da Avenida Lineu de Paula Machado, que por sua vez, desemboca no rio dos Macacos, no trecho final da Rua

General Garzon. A área de drenagem desta bacia é de aproximadamente 1,9 Km² (Figura 7).

No trecho inferior da bacia do rio Cabeça, a malha urbana alcança a cota de 50 m, no final da Rua Lopes Quintas, com florestas alteradas, em alguns trechos até a cota 250 m, devido ao histórico de ocupação da região (KAIPPERT, 2004).

Figura 7 - Vista parcial da Vertente Sul da Serra da Carioca –
Área drenada pelo Rio Cabeça
Modificado por Maurício Soares

O rio Cabeça apresenta alguns problemas ao longo do seu curso, incorporando-se ao seu trajeto contribuições da micro-drenagem pluvial, muitas vezes contaminadas, e de lançamentos diretos de esgotos sanitários *in natura*. Além disso, pelo menos a quarta parte de seu trajeto se esconde sob galerias subterrâneas, ou seja, seu corpo d'água recebeu diversas interferências físicas em sua calha principal (FEEMA,2004b).

Essa bacia possui dois terços de sua área com cobertura vegetal, sendo ainda a de menor produção hídrica entre os três, onde se observa uma vazão de 18L/s (FEEMA, 2004b).

2.1.3 Rio Rainha

A principal característica desta bacia é possuir uma cobertura florestal muito fragmentada, entremeada pela malha urbana, diferenciando-se como a de pior estado de conservação (FEEMA, 2006).

O rio Rainha possui extensão de aproximadamente 4,9 Km; após nascer na cota 680m, ele drena o bairro da Gávea e desemboca no canal da Avenida Visconde de Albuquerque (Figura 8). Ele constitui, portanto, o mais longo curso d'água da bacia hidrográfica, com área de drenagem de aproximadamente 4,3 Km².

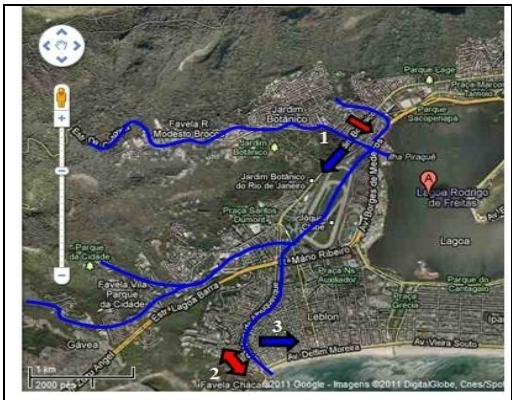
Figura 8 - Vista parcial da Vertente Sul da Serra da Carioca –
Área drenada pelo Rio Rainha
Modificado por Maurício Soares

O rio Rainha, da mesma forma que os demais rios da bacia da Lagoa Rodrigo de Freitas, apresenta uma série de problemas ao longo do seu curso, provenientes da drenagem natural (sub-bacias) e de micro-drenagens pluviais, muitas vezes contaminadas, além de lançamentos ilegais de esgotos sem tratamento (vertente Gávea da comunidade da Rocinha está contida na bacia do rio Rainha) e, eventualmente, de extravasores das elevatórias de esgoto e das caixas de captação de tempo seco (CTS), inseridas em galerias de águas pluviais contaminadas (FEEMA, 2006).

Em abril de 2002, foi inaugurado um conjunto de obras (comporta e elevatória) que desviam as águas do rio Rainha, em regime de tempo seco, para o sistema de esgotamento sanitário local (emissário terrestre) e daí até o Emissário Submarino de Esgotos de Ipanema (Figura 9). Sem essa obra, o destino final dessas águas, possivelmente contaminadas, era a praia do Leblon, através do canal da Avenida Visconde de Albuquerque (FEEMA, 2006).

Figura 9 – Comporta e tomada d'água para desvio das águas do canal Visconde de Albuquerque para o Emissário Submarino de Ipanema
Fonte: FEEMA, 2006

De acordo com a extinta Fundação Estadual de Rios e Lagoas – SERLA, hoje INEA (*apud* FEEMA, 2008), o sistema foi dimensionado para operar com uma vazão 250 L/s. Foi observado que vazões acima desse valor tendem a se acumular no canal até determinado nível, a partir do qual parte dessa drenagem reverte para o canal do Jockey, e daí até a Lagoa. Nesse caso, é sempre recomendada a abertura da comporta do Leblon, conjugada com a comporta da General Garzon, como forma de privilegiar a Lagoa contra a importação das águas oriundas do canal da avenida Visconde de Albuquerque, rio Rainha e canal do Jockey. Considera-se que a qualidade sanitária das águas da bacia do Rainha e do canal do Jockey se encontram mais comprometidas que as águas dos rios dos Macacos e Cabeça, que também drenam para a Lagoa pela comporta da General Garzon. A abertura da comporta da Avenida Visconde de Albuquerque é sempre realizada de acordo com a melhor situação de maré vazante (com base na Tábua das Marés) (Figura 10).



Comporta Aberta

Canal Gal. Garzon
(1). O fluxo predominante em direção à Lagoa.

Canal da av. Visconde de Albuquerque
(2). O fluxo predominante é determinado em função da maré.

Comporta Fechada

Canal da Gal. Garzon
(1). Pode-se alterar em ocasiões de chuvas fortes.

Canal da av. Visconde de Albuquerque
(3). Bombeamento para o emissário submarino de Ipanema.
Pode-se alterar em caso de paralisação ou redução do bombeamento.

Figura 10 - Condições de escoamento predominantes nos canais da Lagoa em função da operação das comportas
Fonte: FEEMA, 2006

2.2. Metodologia de caracterização da qualidade de água

O Instituto Estadual do Ambiente (INEA) possui um plano de monitoramento da qualidade da água, que vem sendo realizado desde a década de 70. Este plano é elaborado anualmente pela Gerência de Qualidade de Água (GEAG/INEA) para os diferentes corpos d'água do Estado do Rio de Janeiro. Os dados provenientes de amostragens realizadas nos diferentes anos, utilizados neste trabalho, seguiram o previsto neste planejamento.

As amostras de água foram coletadas pela equipe de coletores e técnicos da Gerência de Qualidade de Água do INEA (GEAG) e foram processadas e analisadas pela equipe técnica da Gerência de Laboratórios do INEA (GELAB), sendo que, a partir de 2010, participei junto com a equipe de campo do monitoramento nos três corpos d'água avaliados neste estudo.

Foi utilizado neste trabalho um conjunto de dados de variáveis físicas, químicas e biológicas (Tabela 5), o qual foi obtido através de consultas eletrônicas ao banco de dados e/ou de documentos técnicos do INEA.

Tabela 5 - Dados utilizados e respectivas unidades adotadas para o cálculo do IQA_{FAL} e IQA_{CETESB}

Variáveis	PARÂMETRO	UNIDADE
Físicas	pH Turbidez Temperatura da água Temperatura do ar Resíduo Total	pH uT °C °C mg/L
Químicas	Oxigênio Dissolvido Demanda Bioquímica de Oxigênio Fósforo Total Nitrogênio Total Nitrogênio Amoniacal	mg/L mg/L mg/L mg N/L mg N/L
Biológicas	Coliformes Termotolerantes Índice de Diversidade de Shannon-Weaver Densidade de Cianobactérias	NMP/100mL Nº células/L

Para o cálculo do $IQA_{FAL,}$ foi utilizado o *Fuzzy Logic Toolbox* e o *Simulink* do *software* MATLAB versão 2008, licença da UERJ.

O presente estudo utilizou dados do período amostral dos anos de 2003 a 2010, com os dados de todas variáveis. O número de amostras completas, disponíveis nesta série de dados, não é o mesmo em todas as estações de amostragem, por isso seguem as Tabelas 6, 7 e 8 de cada sub-bacia de drenagem da Lagoa Rodrigo de Freitas e as respectivas datas de coleta.

Tabela 6 – Datas das coletas utilizadas em cada trecho na bacia do rio dos Macacos

Rio dos Macacos			
1° Trecho MC085	**2° Trecho MC075**	**3° Trecho MC055**	**4° Trecho MC050**
agosto / 2004			
novembro / 2005			
maio / 2007			
setembro / 2007			
março / 2008			
maio / 2008			
setembro / 2008			
julho / 2009			
março / 2010			
julho / 2010			
outubro / 2010			

Tabela 7 – Datas das coletas utilizadas em cada trecho na bacia do rio Cabeça

Rio Cabeça			
1° Trecho CB085	**2° Trecho CB080**	**3° Trecho CB075**	**4° Trecho CB070**
dezembro / 2003	dezembro / 2003	junho / 2004	
junho / 2004	junho / 2004	maio / 2007	
maio / 2007	maio / 2007	setembro / 2007	
setembro / 2007	setembro / 2007	março / 2008	
março / 2008	março / 2008	junho / 2008	
junho / 2008	junho / 2008	setembro / 2008	
setembro / 2008	setembro / 2008	julho / 2010	
	julho / 2010	outubro / 2010	
	outubro / 2010		

Tabela 8 – Datas das coletas utilizadas em cada trecho na bacia do rio Rainha

Rio Rainha			
1° Trecho RN050	**2° Trecho RN210 e RN040**	**3° Trecho RN310**	**4° Trecho RN020 e RN010**
junho / 2007			
setembro / 2007			
abril / 2008			
julho / 2008			
novembro / 2008			
março / 2010			
julho / 2010			
setembro / 2010			

A composição dos percentuais de resultados do IQA_{FAL} nas respectivas categorias (conjuntos nebulosos) - PÉSSIMO, RUIM, REGULAR, BOM e EXCELENTE -, em cada estação, foi expressa em gráficos de pizza. Assim, é possível ter uma visão da variação espacial (proporções percentuais dos resultados do IQA_{FAL} nas diferentes categorias), ao longo dos pontos de coleta nos três rios contribuintes da Lagoa Rodrigo de Freitas.

Utilizando-se as mesmas séries de dados de qualidade de água, nos mesmos pontos de amostragem, utilizou-se o *software Microsoft Office Excel* versão 2007, licença INEA, para o cálculo do IQA_{CETESB}. Novamente, foram contabilizados os percentuais dos resultados deste índice dentro de cada uma das cinco categorias em cada estação, os quais também serão expressos em gráficos de pizza, com o objetivo de comparar este índice com o IQA_{FAL}.

Posteriormente, com o objetivo de detectar quais variáveis de qualidade de água, empregadas neste estudo, influenciaram mais fortemente os resultados do IQA_{FAL}, foi feita uma avaliação em separado de cada um dos subíndices que compõem o modelo final do IQA_{FAL}.

As informações das referências das coordenadas geográficas foram demarcadas com o aparelho GPS marca Garmin, modelo 765CSX e correlacionadas, em terra, com o mobiliário público da cidade.

2.3. Pontos de coleta

Para uniformizar a avaliação ambiental das águas da área de estudo, foram estabelecidos quatro trechos distintos em cada bacia. Cada trecho possui um ou dois pontos de coleta.

O conjunto de pontos de coleta de cada rio é visualizado esquematicamente, em imagens do Google Earth (Figuras 11, 16 e 21); já nas Figuras 12 a 15, 17 a 20 e 22 a 25 apresentam-se as fotos de cada ponto. As tabelas 9, 10 e 11, a seguir, apresentam a nomenclatura de cada trecho e respectivas estações de amostragem, coordenadas geográficas e descrição.

2.3.1 Rio dos Macacos

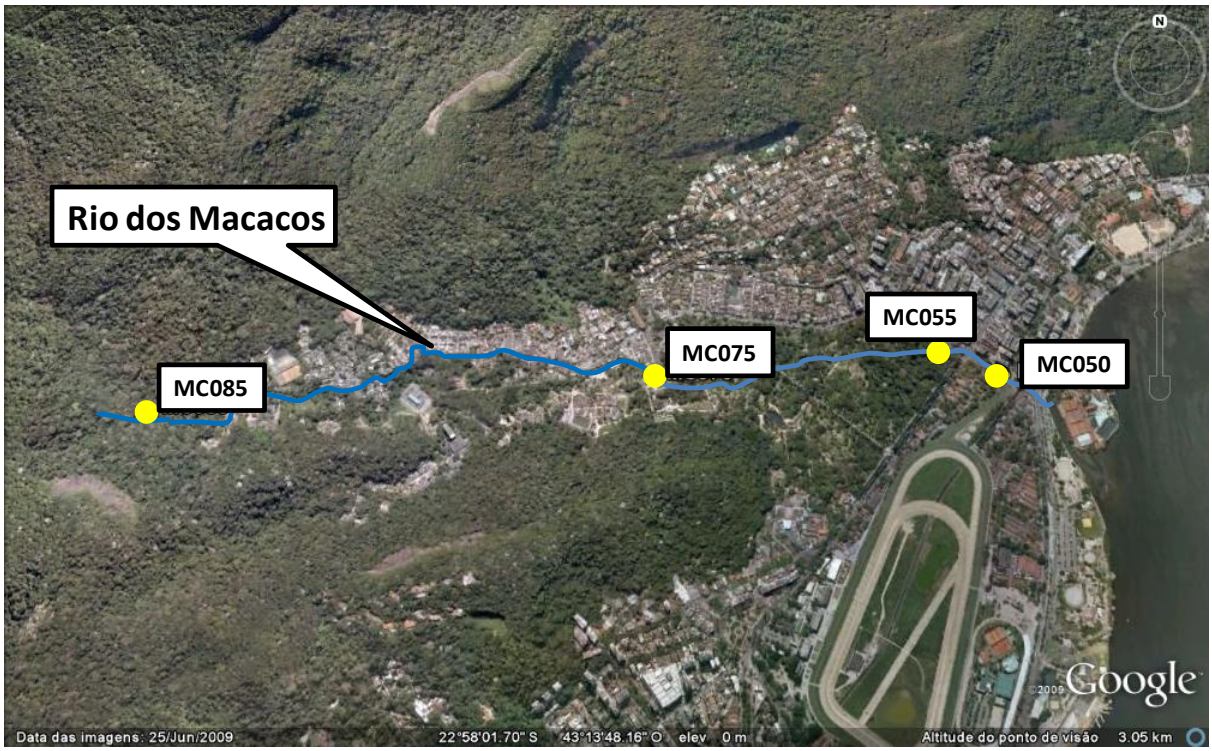


Figura 11 - Localização dos pontos de monitoramento no rio dos Macacos utilizando o Google Earth

No primeiro trecho, alto curso do rio dos Macacos, encontra-se a estação MC085; este é um segmento situado, em boa parte, em área de serra e apresenta vazões relativamente pequenas, com altas energias devido ao declive do terreno. O regime é muito influenciado pelos eventos pluviais, porém a vegetação funciona

como importante fator de regularização de vazões. E a água, visualmente, pode ser considerada como de excelente qualidade (Figura 12).

Figura 12 – Ponto situado no alto curso do rio dos Macacos, denominado MC085

No segundo trecho, médio-alto curso do rio dos Macacos, situa-se o ponto MC075, que se caracteriza pelos eventos pluviais que contribuem para o transporte de sedimentos das regiões marginais, provocando assoreamento dos trechos de menor declividade a jusante. Essa influência é explicada pela redução da cobertura vegetal que se verifica nessa região. Neste trecho, o escoamento superficial é influenciado pela “urbanização” e a ocupação de faixas marginais de proteção, sendo que os sinais de poluição já se encontram presentes na água (Figura 13).

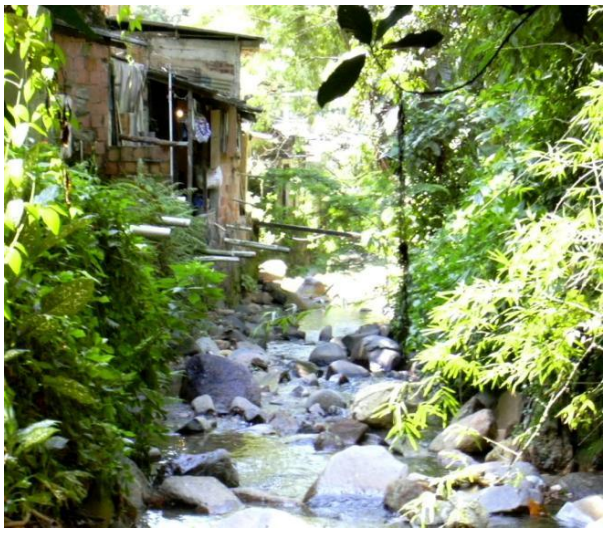


Figura 13 – Ponto situado no médio-alto curso do rio dos Macacos, denominado MC075

No terceiro trecho, médio-baixo curso do rio dos Macacos, localiza-se a estação MC055; este trecho corresponde ao segmento localizado dentro do Parque do Jardim Botânico e caracteriza-se por ter sofrido várias modificações na forma da seção, com ocorrência de pontos de estrangulamentos, principalmente em sua parte final. Vários são os problemas identificados nesta região, observando-se significativa elevação das questões sanitárias e do assoreamento (Figura 14).

Figura 14 - Ponto situado no médio-baixo curso do rio dos Macacos, denominado MC055

No quarto trecho, baixo curso do rio dos Macacos, está o ponto MC050; trecho correspondente ao canal da Rua General Garzon, é o segmento mais degradado e comprometido deste rio. Potencializado pelas intervenções anteriores na calha do rio, incorporou, ainda, contribuições poluidoras importantes da macrodrenagem, que deságuam neste trecho (canais da Avenida Lineu de Paula Machado e, eventualmente, do canal do Jockey). É uma região que possui alto adensamento demográfico, sendo este trecho canalizado e submetido a lançamentos de esgoto de origem doméstica e de atividades comerciais locais. É uma área com ausência de substrato vegetal em virtude desta canalização (Figura 15).

Figura 15 - Ponto situado no baixo curso do rio dos Macacos, denominado MC050

Na Tabela 9 abaixo, apresentam-se as nomenclaturas de cada trecho e respectivas estações de coleta, coordenadas geográficas e descrição.

Tabela 9 – Nomenclaturas, coordenadas e descrição dos pontos de amostragem do rio dos Macacos

Trecho	Nomenclatura	Estação de Coleta	Coordenadas (UTM)	Descrição da Estação de Coleta
1°	Alto curso	MC085	680054 7458974	Compreende a região do trecho que vai da nascente até o ponto 2 (local próximo às antigas represas da CEDAE)
2°	Médio-alto curso	MC075	681639 7459075	Tem início a partir do ponto anterior até o início da divisa com o Parque do Jardim Botânico
3°	Médio-baixo curso	MC055	682510 7459105	Corresponde ao trecho no interior do Parque do Jardim Botânico até desaguar no canal da Rua General Garzon
4°	Baixo curso	MC050	682691 7459057	Canal da Rua General Garzon, considerado por ser esse corpo d'água uma extensão do rio dos Macacos até a foz na lagoa Rodrigo de Freitas

2.3.2 Rio Cabeça

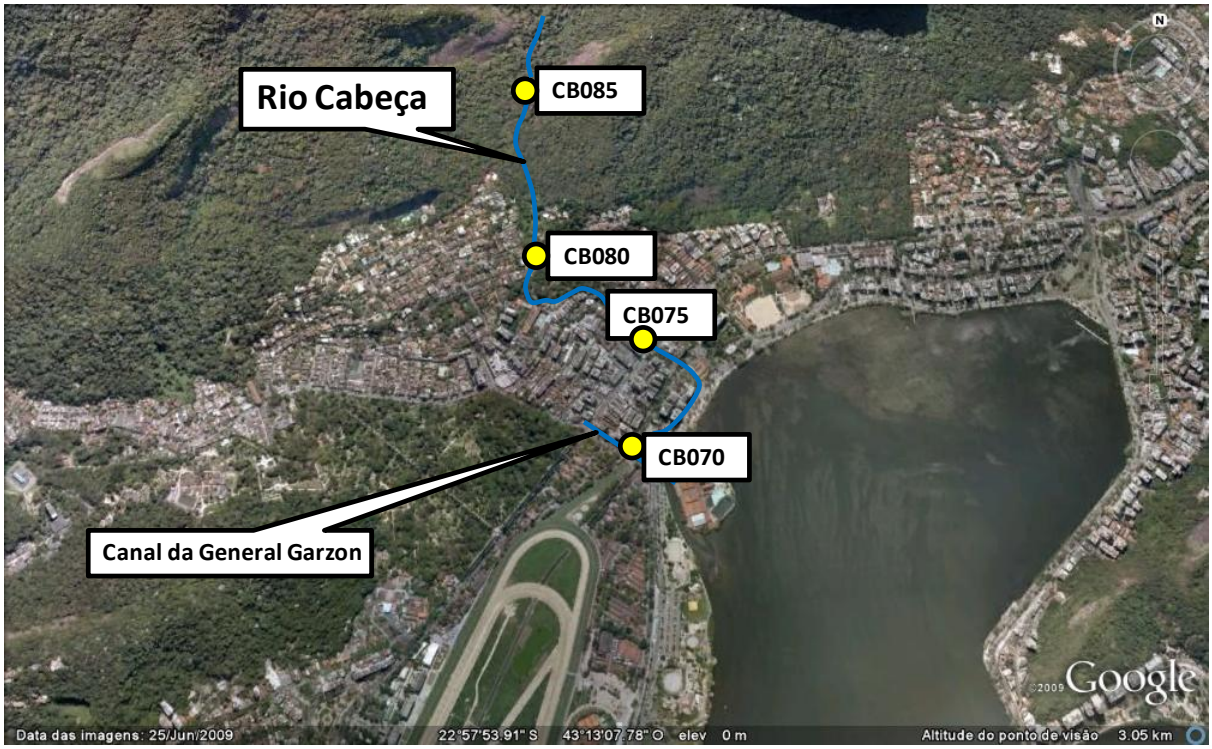


Figura 16 - Localização dos pontos de monitoramento no rio Cabeça utilizando o Google Earth

No primeiro trecho, alto curso do rio Cabeça, localiza-se o ponto CB085; é um segmento situado, em boa parte, em área de serra e apresenta vazões relativamente pequenas, com altas energias devido ao declive do terreno. O regime é muito influenciado pelos eventos pluviais, porém a vegetação funciona como importante fator de regularização de vazões. A água, visualmente, pode ser considerada como de excelente qualidade (Figura 17).

Figura 17 - Ponto situado no alto curso do rio Cabeça, denominado CB085

No segundo trecho, médio-alto curso do rio Cabeça, está o ponto CB080; o trecho apresenta um regime com forte influência dos eventos pluviais, principalmente em função do avanço do desmatamento, sendo o escoamento superficial influenciado pela “urbanização” e a ocupação de faixas marginais de proteção; neste trecho os sinais de poluição ainda são pontuais e pouco expressivos, mas os sinais de macroscópicos já se encontram presentes na água (Figura 18).

Figura 18 - Ponto situado no médio-alto curso do rio Cabeça, denominado CB080

No terceiro trecho, médio-baixo curso do rio Cabeça, encontra-se a estação CB075. Ali, o rio corre em galerias subterrâneas em meio a densa ocupação urbana, tendo sofrido várias modificações na forma da seção, com ocorrência de pontos de

estrangulamentos, principalmente no segmento final deste trecho; vários são os problemas identificados nesta região, destacando-se as questões de poluição e assoreamento (Figura 19).

Figura 19 - Ponto situado no médio-baixo curso do rio Cabeça, denominado CB075

No quarto trecho, baixo curso do rio Cabeça, situa-se o ponto CB070; é o trecho correspondente ao canal da Avenida Lineu de Paula Machado, segmento mais degradado e comprometido do rio Cabeça, onde se observa o agravamento da poluição e do assoreamento (Figura 20).

Figura 20 - Ponto situado no baixo curso do rio Cabeça, denominado CB070

A seguir, a Tabela 10 relaciona a nomenclatura de cada trecho e sua respectiva estação de coleta, coordenadas geográficas e descrição.

Tabela 10 – Nomenclaturas, coordenadas e descrição dos pontos de amostragem do rio Cabeça

Trecho	Nomenclatura	Estação de Coleta	Coordenadas (UTM)	Descrição da Estação de Coleta
1°	Alto curso	CB085	682420 7460190	Compreende o segmento que vai da nascente até o início da área mais urbanizada - coincidente com local onde está situada a antiga represa da CEDAE
2°	Médio alto curso	CB080	682409 7459658	Segmento correspondente à área urbanizada onde o rio se desenvolve a céu aberto
3°	Médio baixo curso	CB075	682795 7459369	Corresponde ao trecho subterrâneo do rio
4°	Baixo curso	CB070	682675.61 7459068	Segmento correspondente ao canal da Avenida Lineu de Paula Machado até o seu deságue no canal da Rua General Garzon

2.3.3 Rio Rainha

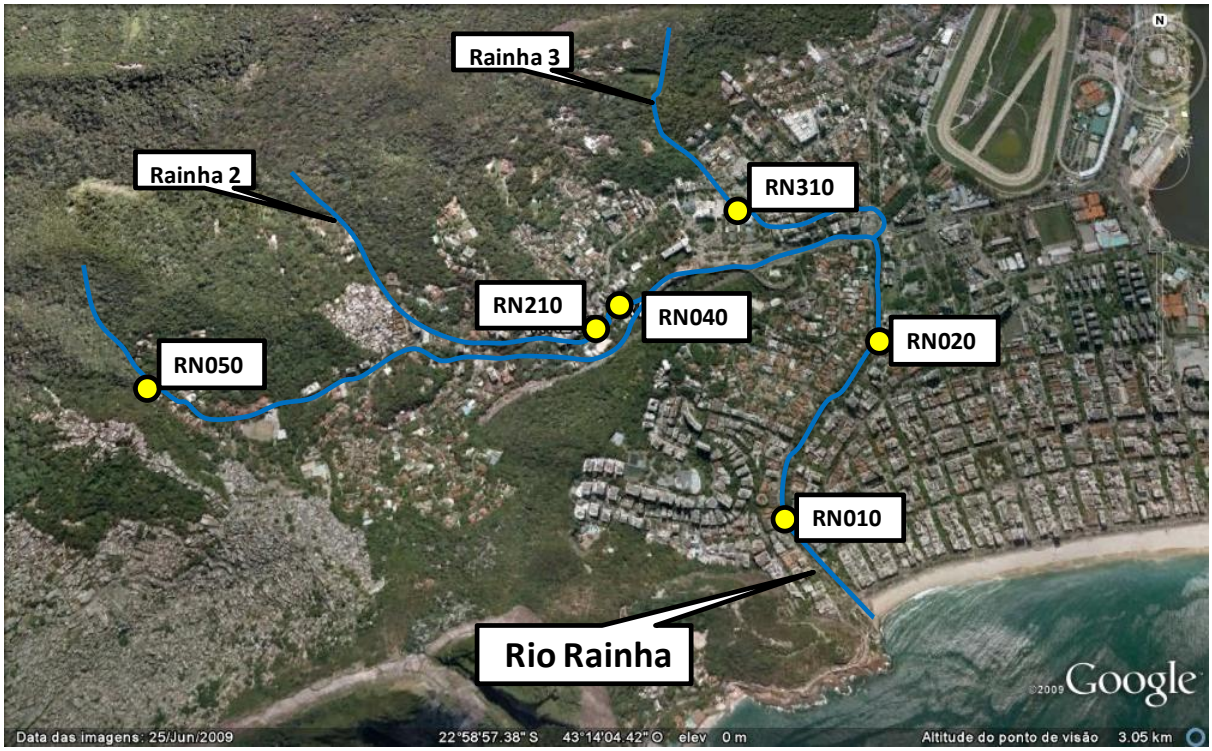


Figura 21 - Localização dos pontos de monitoramento no rio Rainha utilizando o Google Earth

No alto curso do rio Rainha, primeiro trecho, localiza-se o ponto RN050. O segmento está situado, em boa parte, em área de encosta com forte declividade; apresenta vazões relativamente pequenas, com altas energias devido ao declive do terreno; o regime é muito influenciado pelos eventos pluviais, porém a vegetação funciona como importante fator de regularização de vazão. A água, entretanto, já apresenta sinais de poluição, provenientes de lançamentos de esgoto não coletados da vertente Gávea da Rocinha (Figura 22).

Figura 22 - Ponto situado no alto curso do rio Rainha, denominado RN050

O médio-alto curso do rio Rainha é o segundo trecho, onde estão os pontos RN210 e RN040. Nesse segmento, os eventos pluviais contribuem para o transporte dos sedimentos das regiões marginais, que poderão provocar assoreamento dos trechos de menor declividade a jusante. Essa influência é explicada pela redução da cobertura vegetal que se verifica nessa região. O escoamento superficial é influenciado pela urbanização e pela ocupação de faixas marginais de proteção, sendo que os problemas de poluição já dão sinais mais evidentes de presença na água (Figura 23).

Figura 23 – Dois pontos situados no médio-alto curso do rio Rainha, denominados RN210 e RN040, respectivamente

No terceiro trecho, ou médio-baixo curso do rio Rainha, está a estação de coleta RN310. São vários os problemas identificados ali, observando-se o agravamento das questões sanitárias e do assoreamento, já possivelmente associados também à saturação da rede coletora de esgoto (Figura 24).

Figura 24 - Ponto situado no médio-baixo curso do rio Rainha, denominado RN310

No quarto trecho, ou baixo curso do rio Rainha, encontram-se os pontos RN020 e RN010. Esse trecho correspondente ao canal da Avenida Visconde de Albuquerque, segmento mais degradado e comprometido da bacia, potencializado pelas intervenções anteriores na calha do rio, que incorpora, ainda, contribuições poluentes importantes da micro e macrodrenagem (canal do Jockey) locais (Figura 25).

Figura 25 – Dois pontos situados no baixo curso do rio Rainha, denominados RN020 e RN010, respectivamente

Tabela 11 – Nomenclaturas, coordenadas e descrição dos pontos de amostragem do rio Rainha

Trecho	Estação de Coleta	Coordenadas (UTM)	Descrição da Estação de Coleta
1°	RN050	679673 7457347	Segmento que vai da nascente até o ponto de deságue do primeiro braço contribuinte do rio Rainha (nas proximidades do cruzamento das ruas Tenente Arantes Filho e Tenente Marcio Pinto, dentro do condomínio Parque da Gávea)
2°	RN040	681037 7457526	Ponto logo após o encontro das águas dos rios Rainha e Rainha 2, na área do prédio 351 da rua Marquês de São Vicente.
	RN210	681013 7457507	Ponto na calha do Rainha 2, imediatamente a montante do deságue no curso principal; mesmo acesso ao da estação RN040.
3°	RN310	681458 7457887	Ponto no Rainha 3, no interior da área do Planetário, a montante da ponte, com acesso pela rua Vice-governador Rubens Berardo.
4°	RN020	681842 7457465	Ponto situado no canal da Av. Visconde de Albuquerque, na ponte existente nas imediações da Praça Baden Powell.
	RN010	681540 7456906	Ponto situado no canal da Av. Visconde de Albuquerque, na ponte de acesso à Rua Ataulfo de Paiva.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO: APLICAÇÃO DO IQA_{FAL}

A adoção do IQA_{FAL} pelo INEA é uma proposta recente que se encontra ainda em fase de avaliação para ambientes distintos daquele a partir do qual foi criado (rio Paraíba do Sul). Este trabalho aplica a metodologia assim concebida para uma bacia de pequeno porte, em área urbana (Bacia Hidrográfica da Lagoa Rodrigo de Freitas). Para avaliar os resultados obtidos, escolheu-se o IQA_{CETESB}, que é o índice de qualidade de água mais reconhecido e utilizado no Brasil (ver item 1.4.1).

Este capítulo apresenta os resultados finais do cálculo do IQA_{FAL}, e os resultados de seus subíndices e, posteriormente, os compara ao IQA_{CETESB}, por cada bacia contribuinte à Bacia de Drenagem da Lagoa Rodrigo de Freitas: Bacia do rio dos Macacos, Bacia do rio Cabeça e Bacia do rio Rainha. Tais resultados seguem as categorias apresentadas na Tabela 12, diferenciadas por cores de acordo com a faixa de valores em que se encontram.

Tabela 12 – Base de resultados do IQA_{FAL} com seus respectivos critérios de classificação e cor

Base de Resultados do IQA_{FAL}		
FAIXA	**CATEGORIA**	**COR**
90 ≤ IQA ≤ 100	**EXCELENTE**	azul
70 ≤ IQA ≤ 90	**BOM**	verde
50 ≤ IQA ≤ 70	**REGULAR**	amarelo
25 ≤ IQA ≤ 50	**RUIM**	laranja
0 ≤ IQA ≤ 25	**PÉSSIMO**	vermelho

3.1. Rio dos Macacos

3.1.1 IQA_{FAL}: Resultado final e subíndices

O resultado final do IQA_{FAL} e os resultados dos seus subíndices por cada data de coleta, nas estações de amostragem MC085, MC075, MC055 e MC050, da bacia do rio dos Macacos, estão apresentados, respectivamente, nas Tabelas 13, 14, 15 e 16.

Tabela 13 – Resultado final e subíndices do IQA_{FAL} no ponto de coleta MC085 (rio dos Macacos)

Datas	IQA_{FAL}	Classificação	Subíndice Nutrientes	Subíndice Carga Orgânica	Subíndice Despejos Domésticos	Subíndice Biológico	Subíndice Trófico
ago-04	79,4	Bom	97,1	56,9	78,5	59,9	78,8
nov-05	79,8	Bom	97,1	80,0	79,9	64,1	79,9
mai-07	37,5	Ruim	97,1	80,0	37,2	62,8	79,3
set-07	66,9	Regular	88,8	79,5	79,7	60,3	68,1
mar-08	79,8	Bom	96,9	79,5	79,9	84,4	95,6
mai-08	79,2	Bom	87,1	70,8	78,0	75,0	80,7
set-08	61,8	Regular	85,4	80,0	79,7	59,9	63,5
jul-09	78,9	Bom	97,1	70,8	77,5	59,9	78,8
mar-10	79,6	Bom	97,1	80,0	79,9	62,5	79,2
jul-10	79,6	Bom	97,1	64,1	79,4	88,8	95,5
out-10	79,5	Bom	97,1	70,8	79,6	59,9	78,8

Tabela 14 – Resultado final e subíndices do IQA_{FAL} no ponto de coleta MC075 (rio dos Macacos)

Datas	IQA_{FAL}	Classificação	Subíndice Nutrientes	Subíndice Carga Orgânica	Subíndice Despejos Domésticos	Subíndice Biológico	Subíndice Trófico
ago-04	37,5	Ruim	97,1	56,9	10,2	89,5	95,4
nov-05	37,5	Ruim	78,9	80,0	37,2	73,2	75,1
mai-07	37,5	Ruim	80,0	80,0	37,2	59,7	60,0
set-07	37,5	Ruim	69,7	80,0	37,2	96,9	85,3
mar-08	37,6	Ruim	92,4	80,0	37,2	91,0	90,3
mai-08	37,5	Ruim	37,5	80,0	37,2	92,6	60,0
set-08	10,2	Péssimo	37,5	58,5	10,3	60,6	37,8
jul-09	37,5	Ruim	54,2	80,0	37,2	88,2	67,0
mar-10	37,5	Ruim	97,0	80,0	37,1	96,0	95,7
jul-10	37,5	Ruim	85,5	80,0	37,2	59,9	63,5
out-10	37,4	Ruim	87,5	77,9	36,3	71,3	76,4

Tabela 15 – Resultado final e subíndices do IQA_{FAL} no ponto de coleta MC055 (rio dos Macacos)

Datas	IQA_{FAL}	Classificação	Subíndice Nutrientes	Subíndice Carga Orgânica	Subíndice Despejos Domésticos	Subíndice Biológico	Subíndice Trófico
ago-04	37,5	Ruim	63,9	79,5	37,0	78,9	62,0
nov-05	37,5	Ruim	69,7	80,0	37,1	60,2	60,0
mai-07	10,5	Péssimo	60,0	65,1	13,6	75,0	59,9
set-07	11,8	Péssimo	13,4	68,1	18,3	95,7	37,6
mar-08	14,5	Péssimo	60,0	69,2	20,9	73,2	59,9
mai-08	37,5	Ruim	37,5	79,9	37,1	85,6	60,0
set-08	10,2	Péssimo	10,1	39,0	10,1	61,0	37,3
jul-09	10,8	Péssimo	37,5	67,0	16,2	79,7	59,6
mar-10	71,2	Bom	93,9	79,8	70,7	97,2	95,9
jul-10	37,5	Ruim	72,7	80,0	37,2	64,1	62,2
out-10	37,4	Ruim	60,1	77,9	36,3	92,8	74,7

Tabela 16 – Resultado final e subíndices do IQA_{FAL} no ponto de coleta MC050 (rio dos Macacos)

Datas	IQA_{FAL}	Classificação	Subíndice Nutrientes	Subíndice Carga Orgânica	Subíndice Despejos Domésticos	Subíndice Biológico	Subíndice Trófico
ago-04	36,9	Ruim	62,9	59,8	10,4	96,8	79,2
nov-05	37,2	Ruim	69,7	76,4	35,1	67,3	66,7
mai-07	37,5	Ruim	60,0	79,5	37,0	75,0	59,9
set-07	37,4	Ruim	37,5	79,3	37,0	84,7	60,0
mar-08	37,5	Ruim	60,0	79,5	37,0	67,0	59,9
mai-08	37,5	Ruim	61,2	79,9	37,1	80,0	60,6
set-08	35,8	Ruim	33,4	74,2	32,2	81,6	59,0
jul-09	37,5	Ruim	37,5	79,8	37,1	79,7	59,6
mar-10	37,6	Ruim	73,9	79,5	37,0	96,9	90,6
jul-10	10,5	Péssimo	37,5	61,1	10,7	96,0	60,0
out-10	37,2	Ruim	60,1	76,4	35,1	96,8	78,6

Na bacia do rio dos Macacos os resultados para o IQA_{FAL}, no ponto MC085, mostraram-se, predominantemente, na categoria “BOM”, como observado pela predominância da cor verde. Nos meses de setembro de 2007 e 2008 foram classificados na categoria “REGULAR”, representada pela cor amarela. Maio de 2007 apresentou-se como “RUIM”, categoria identificada pela cor laranja. Nas estações de amostragem que se seguem, os resultados foram incluídos em categorias piores.

No ponto MC075, os resultados se encontraram, principalmente, na categoria “RUIM”, caracterizada pela cor laranja. Apenas no mês de setembro de 2008 o resultado foi incluído na categoria “PÉSSIMO”, como pode ser observado pela cor vermelha.

No ponto MC055, os resultados ao longo do tempo de estudo, se dividiram entre as categorias “RUIM” e “PÉSSIMO”, representadas pelas cores vermelha e laranja, respectivamente. A única exceção verificou-se em março de 2010, onde o IQA_{FAL} se mostrou incluído na categoria “BOM”, identificada pela cor verde.

No ponto MC050, os resultados do IQA_{FAL} predominaram-se na categoria “RUIM”, identificada pela cor vermelha. A única exceção ocorreu em julho de 2010, onde o IQA_{FAL} pulou para uma categoria abaixo, ou seja, a “PÉSSIMA”, cor vermelha.

O IQA_{FAL} é calculado para cada amostra individualmente. Entretanto, a qualidade da água é descrita nos relatórios disponíveis com base em séries de

amostras coletadas em períodos de tempo. Com isso, decidiu-se utilizar uma visão agregada de todos os resultados do índice calculados no período estudado.

Dessa forma, depois de calculado o $IQA_{FAL,}$ foram contabilizados os percentuais dos resultados do índice que ocorreram dentro de cada uma das categorias: PÉSSIMO, RUIM, REGULAR, BOM e EXCELENTE, em cada estação, os quais foram plotados em gráficos de pizza. Esses gráficos são apresentados em um mapa temático (Figura 26).

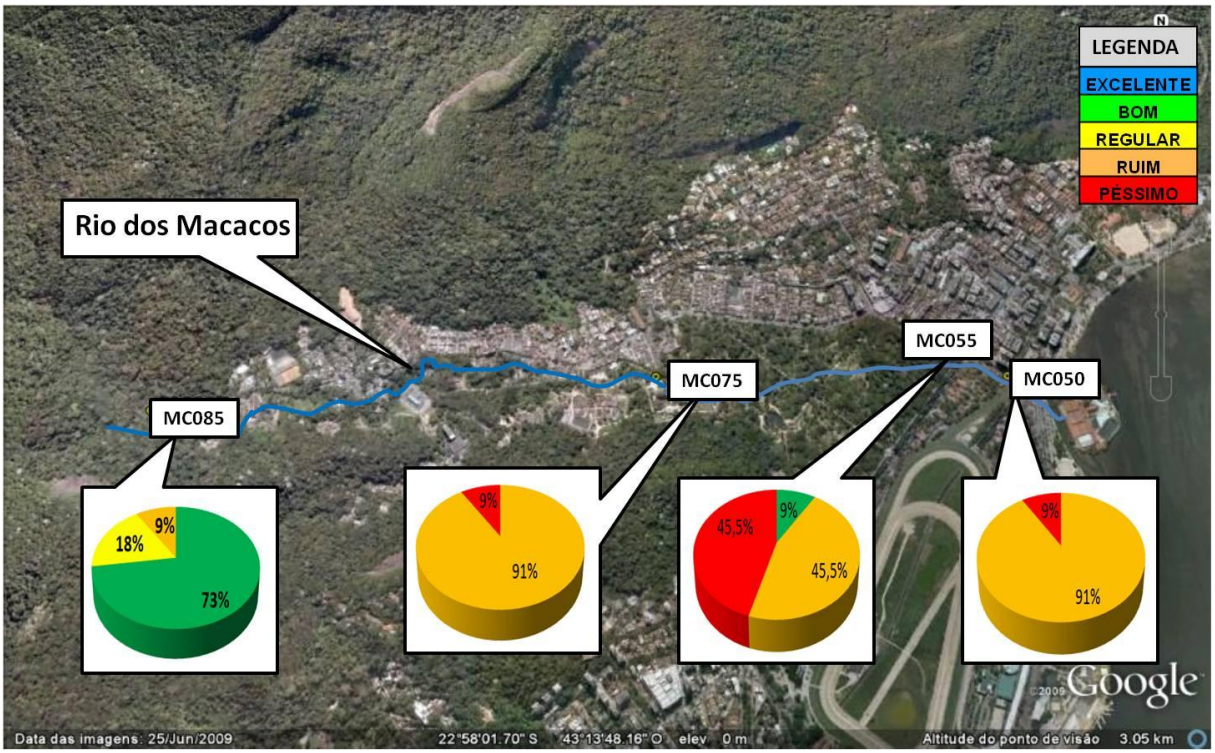


Figura 26 - Mapa com os percentuais de resultados do IQA_{FAL}, em cada categoria, em cada ponto de coleta do rio dos Macacos

Pelos resultados encontrados do IQA_{FAL}, evidencia-se a diferenciação das estações de coleta ao longo do gradiente longitudinal do rio dos Macacos, que assinalam valores mais altos do IQA_{FAL} na região próxima à cabeceira e um decréscimo desse valor nas regiões próximas à foz.

É o caso do alto curso do rio, ponto MC085, no qual os maiores percentuais de resultados do IQA_{FAL} ocorrem na faixa de valores da categoria “BOM”, com 73% dos resultados. Enquanto no trecho de alto-médio curso do rio, caracterizado pela estação MC075, os maiores percentuais de resultados do IQA_{FAL} ocorreram na faixa de valores da categoria “RUIM”, com 91% dos resultados. Na estação MC055, os maiores percentuais de resultados do IQA_{FAL} dividiram-se nas faixas de valores das

categorias “RUIM” e “PÉSSIMO”, com 45,5%, e no baixo curso deste rio, ponto MC050, os maiores percentuais de resultados do IQA_{FAL} ocorreram na faixa de valores da categoria “RUIM”, com 91% dos resultados.

3.1.2 Análise comparativa com IQA_{CETESB}

Para a análise comparativa, foram utilizadas para o cálculo do IQA_{CETESB} as mesmas séries de dados de qualidade de água, relativas aos mesmos pontos de coleta, do IQA_{FAL}. Assim como foi feito para o IQA_{FAL}, os percentuais de resultados do IQA_{CETESB} são apresentados em um mapa temático, com gráficos de pizza em cada estação de amostragem (Figura 27).

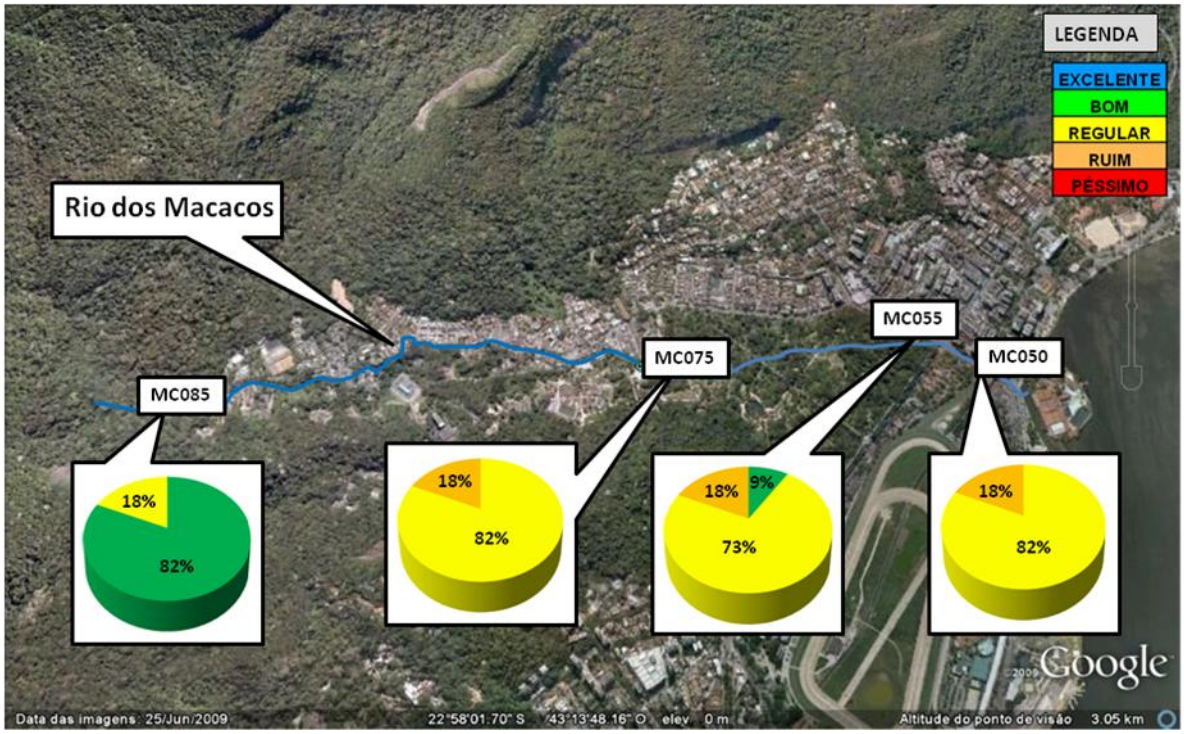


Figura 27 - Mapa com os percentuais de resultados do IQA_{CETESB}, em cada categoria, em cada ponto de coleta do rio dos Macacos

Os maiores percentuais de resultados do IQA_{CETESB} para o ponto MC085 também ocorrem na faixa de valores da categoria “BOM” (82%), porém com um percentual superior ao IQA_{FAL} (73%). No ponto MC075, os resultados entre os dois índices foram bastante divergentes: enquanto o resultado do IQA_{CETESB} demonstrou 82% dos resultados incluídos na categoria “REGULAR”, o IQA_{FAL} obteve 91% de seus resultados em uma categoria inferior: “RUIM”. Na estação MC055, no médio-

baixo curso do rio dos Macacos, o IQA_{CETESB} revelou 77% dos resultados ocorrendo na categoria “REGULAR”, contrastando fortemente com o IQA_{FAL}, cujo resultado dividiu-se nas categorias “RUIM” e “PÉSSIMO”. No ponto de coleta do baixo curso do rio, MC050, o IQA_{CETESB} indica um percentual predominante de 82% na categoria “REGULAR”, enquanto o IQA_{FAL} obteve 91% dos seus resultados dentro da categoria “RUIM”.

3.2. Rio Cabeça

3.2.1 IQA_{FAL}: Resultado final e subíndices

O resultado final do IQA_{FAL} e os resultados dos seus subíndices para a bacia do rio Cabeça são apresentados por data de coleta em cada estação de amostragem: CB085 (Tabela 17), CB080 (Tabela 18), CB075 (Tabela 19) e CB070 (Tabela 20).

Tabela 17 – Resultado final e subíndices do IQA_{FAL} no ponto de coleta CB085 (rio Cabeça)

Datas	IQA_{FAL}	Classificação	Subíndice Nutrientes	Subíndice Carga Orgânica	Subíndice Despejos Domésticos	Subíndice Biológico	Subíndice Trófico
dez-03	79,8	Bom	96,9	80,0	79,9	69,3	84,7
jun-04	79,5	Bom	97,1	80,0	79,8	59,9	78,8
mai-07	79,8	Bom	97,1	79,5	79,9	91,8	95,6
set-07	60,3	Regular	80,0	80,0	79,9	61,4	60,7
mar-08	79,7	Bom	96,9	80,0	79,8	66,4	81,5
jun-08	79,5	Bom	97,1	80,0	79,8	59,9	78,8
set-08	79,5	Bom	97,1	79,5	79,9	59,9	78,8

Tabela 18 – Resultado final e subíndices do IQA_{FAL} no ponto de coleta CB080 (rio Cabeça)

Datas	IQA_{FAL}	Classificação	Subíndice Nutrientes	Subíndice Carga Orgânica	Subíndice Despejos Domésticos	Subíndice Biológico	Subíndice Trófico
dez-03	79,5	Bom	97,1	80,0	79,4	61,6	79,0
jun-04	37,5	Ruim	97,1	80,0	37,2	59,9	78,8
mai-07	37,5	Ruim	97,1	79,5	37,0	59,9	78,8
set-07	37,5	Ruim	88,9	80,0	37,2	60,5	68,3
mar-08	37,5	Ruim	94,9	80,0	37,2	89,8	93,0
jun-08	37,5	Ruim	97,1	80,0	37,2	59,9	78,8
set-08	37,5	Ruim	97,1	79,5	37,0	70,6	86,6
jul-10	37,5	Ruim	96,9	79,5	37,0	66,4	81,5
out-10	37,5	Ruim	97,1	77,9	36,3	96,4	95,8

Tabela 19 – Resultado final e subíndices do IQA_{FAL} no ponto de coleta CB075 (rio Cabeça)

Datas	IQA_{FAL}	Classificação	Subíndice Nutrientes	Subíndice Carga Orgânica	Subíndice Despejos Domésticos	Subíndice Biológico	Subíndice Trófico
jun-04	37,5	Ruim	60,0	79,9	37,1	60,3	59,9
mai-07	37,5	Ruim	61,2	80,0	37,2	60,0	59,9
set-07	10,2	Péssimo	10,1	39,8	10,1	59,2	36,9
mar-08	37,4	Ruim	60,0	77,9	36,3	71,6	59,9
jun-08	37,5	Ruim	95,1	80,0	37,2	68,9	82,7
set-08	37,5	Ruim	88,4	80,0	37,2	62,3	67,9
jul-10	37,5	Ruim	87,1	80,0	37,2	60,6	65,5
out-10	37,5	Ruim	95,1	71,8	27,0	84,1	94,1

Tabela 20 – Resultado final e subíndices do IQA_{FAL} no ponto de coleta CB070 (rio Cabeça)

Datas	IQA_{FAL}	Classificação	Subíndice Nutrientes	Subíndice Carga Orgânica	Subíndice Despejos Domésticos	Subíndice Biológico	Subíndice Trófico
jun-04	28,8	Ruim	40,2	72,0	27,5	59,9	37,8
mai-07	10,5	Péssimo	37,5	59,4	10,4	83,8	60,0
set-07	10,2	Péssimo	10,1	49,8	10,2	59,5	37,0
mar-08	35,8	Ruim	37,5	74,2	32,2	87,2	60,0
jun-08	36,7	Ruim	60,1	58,5	10,3	96,7	78,6
set-08	37,4	Ruim	37,5	77,9	36,3	96,3	60,0
jul-10	10,2	Péssimo	10,1	59,7	10,4	70,6	37,5
out-10	37,5	Ruim	78,9	71,8	27,0	91,8	89,2

Na sub-bacia do rio Cabeça, os resultados para o IQA_{FAL} no ponto CB085 inserem-se, sobretudo na categoria “BOM”, como pode ser observado pela cor verde dominante. Apenas em setembro de 2007 o resultado esteve enquadrado na categoria “REGULAR”, caracterizada pela cor amarela.

Já no ponto CB080 ocorre o contrário, os resultados mostraram-se, predominantemente, de cor laranja, que representa a categoria “RUIM”. Apenas o resultado de dezembro de 2003 foi incluído na categoria “BOM”, caracterizada pela cor verde.

Nas estações de amostragem que se seguem, os resultados mostraram-se mais baixos. No ponto CB075, encontram-se, principalmente, na categoria “RUIM”, identificada pela cor laranja. Apenas em setembro de 2007, os resultados foram caracterizados como “PÉSSIMO”, categoria representada pela cor vermelha.

No ponto CB070, os resultados ficaram, na sua maioria, incluídos na categoria “RUIM”, identificada pela cor laranja. Apenas nas coletas do ano de 2007 e julho de 2010, o resultado mostrou-se na cor vermelha, indicando a categoria “PÉSSIMA”.

Do mesmo modo que o item anterior, foram considerados os maiores percentuais de resultados do IQA_{FAL} que, a seguir, são apresentados em um mapa temático, com gráficos de pizza para cada estação de amostragem (Figura 28).

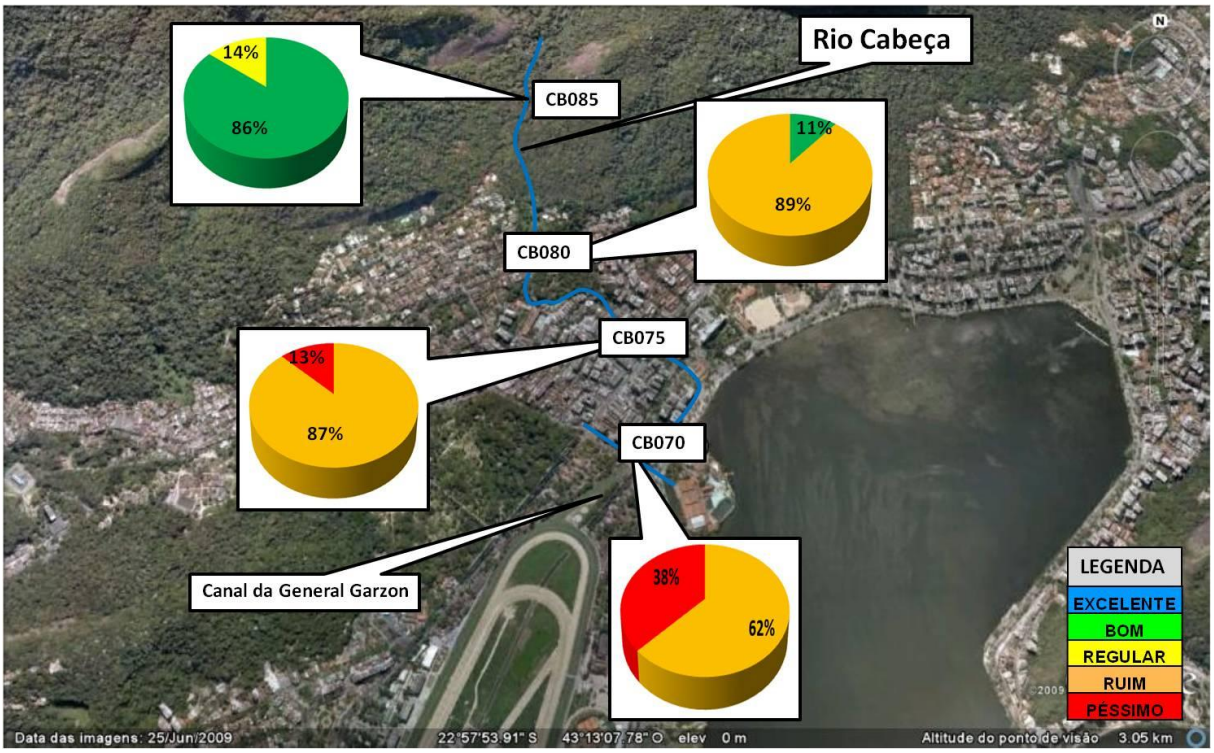


Figura 28 - Mapa com os percentuais de resultados do IQA_{FAL}, em cada categoria, em cada ponto de coleta do rio Cabeça

Pelos resultados encontrados do IQA_{FAL}, mais uma vez evidencia-se a diferenciação das estações de coleta ao longo do gradiente longitudinal do rio Cabeça. Esta diferenciação revela-se pelos valores mais altos do IQA_{FAL} na região próxima à nascente e pela redução deste valor nas regiões próximas a foz, ou seja, próximas à Lagoa Rodrigo de Freitas.

No alto curso do rio, o ponto CB085 apresentou os maiores percentuais de resultados do IQA_{FAL} na faixa de valores da categoria “BOM”, com 86% dos resultados; apenas os dados da coleta de setembro de 2007 são de qualidade “REGULAR”. No trecho do alto-médio curso do rio, caracterizado pela estação

CB080, os maiores percentuais de resultados do IQA_{FAL} ocorreram na faixa de valores da categoria “RUIM”, com 89% dos resultados. Já na estação CB075, 87% dos resultados do IQA_{FAL} ocorreram na faixa de valores da categoria “RUIM”, assim como no baixo curso do rio Cabeça, ponto CB070, 62% dos resultados do IQA_{FAL} mostraram-se também dentro da categoria “RUIM”.

3.2.2 Análise comparativa com IQA_{CETESB}

Para efetuar a comparação dos resultados acima indicados do IQA_{FAL} com o IQA_{CETESB}, utilizaram-se as mesmas séries de dados de qualidade de água, nos mesmos pontos de coleta do rio Cabeça e, mais uma vez, os seus maiores percentuais foram plotados em gráficos de pizza num mapa temático (Figura 29).

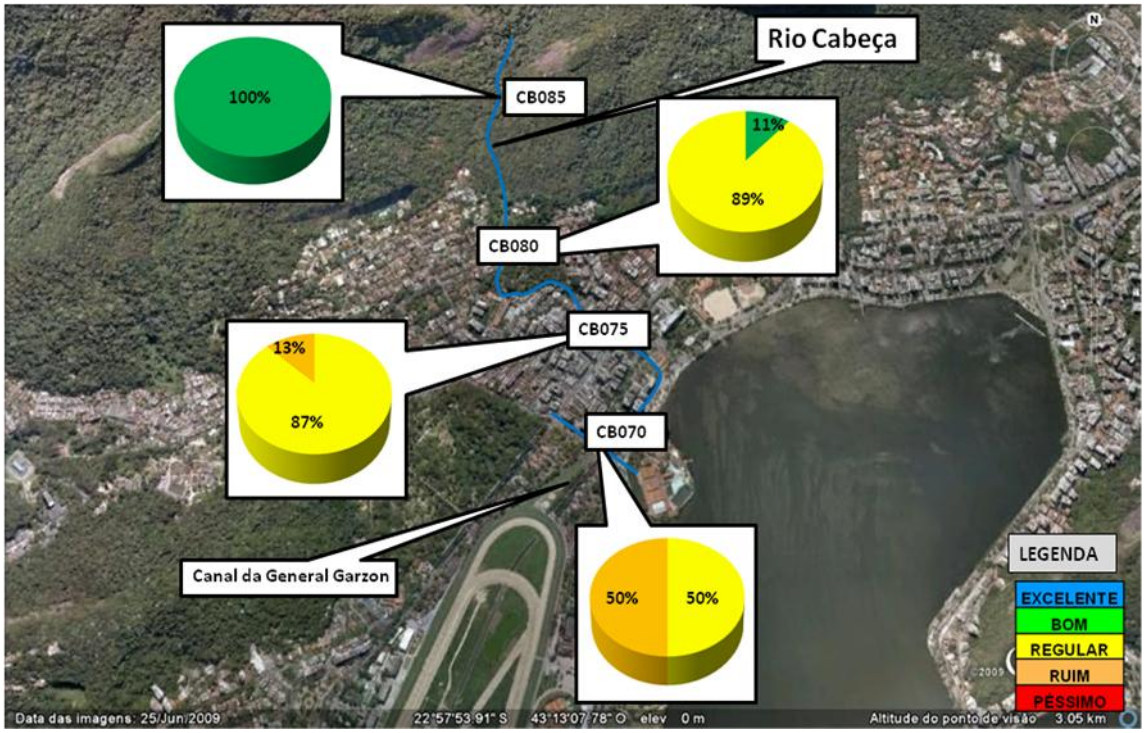


Figura 29 - Mapa com os percentuais de resultados do IQA_{CETESB}, em cada categoria, em cada ponto de coleta do rio Cabeça

No ponto de coleta CB085, no alto curso do rio, os maiores percentuais de resultados do IQA_{CETESB} (Figura 42) e do IQA_{FAL} ocorrem na mesma categoria (“BOM”), embora com percentuais distintos: 100% e 86%, respectivamente. No

ponto CB080, o resultado do IQA_{CETESB} demonstrou 89% dos resultados na categoria "REGULAR", enquanto o IQA_{FAL} apresenta o mesmo percentual classificado na categoria imediatamente inferior: "RUIM". Na estação CB075, médio-baixo curso do rio Cabeça, o IQA_{CETESB} revelou 87% dos resultados ocorrendo, novamente, na categoria "REGULAR"; o IQA_{FAL} indica uma qualidade de água inferior, com 87% dos resultados na categoria "RUIM". Já no baixo curso do rio, no ponto de coleta CB070, os resultados do IQA_{CETESB} se dividiram entre as categorias "REGULAR" e "RUIM", com 50% cada uma. No mesmo ponto, o IQA_{FAL} apresenta: 62% do total inserem-se na categoria "RUIM".

Comparando-se os resultados desses dois índices, confirma-se a tendência anteriormente observada: o IQA_{CETESB} mostra-se menos restritivo que o IQA_{FAL}.

3.3. Rio Rainha

3.3.1 IQA_{FAL}: Resultado final e subíndices

O resultado final e os subíndices do IQA_{FAL}, por data de coleta, em cada uma das seis estações de amostragem do rio Rainha, são apresentados nas tabelas a seguir (Tabelas 21 a 26).

Tabela 21 – Resultado final e subíndices do IQA_{FAL} no ponto de coleta RN050 (rio Rainha)

Datas	IQA_{FAL}	Classificação	Subíndice Nutrientes	Subíndice Carga Orgânica	Subíndice Despejos Domésticos	Subíndice Biológico	Subíndice Trófico
jun-07	37,5	Ruim	73,9	80,0	37,2	89,5	81,9
set-07	10,9	Péssimo	63,8	60,0	10,5	63,2	61,5
abr-08	79,1	Bom	97,1	79,5	77,9	59,9	78,8
jul-08	61,8	Regular	85,5	79,5	79,6	59,9	63,5
nov-08	37,4	Ruim	59,8	78,9	36,8	76,2	59,8
mar-10	79,2	Bom	97,1	80,0	78,2	59,9	78,8
jul-10	79,7	Bom	96,0	80,0	79,7	88,8	94,6
set-10	45,5	Ruim	97,1	55,2	48,9	61,7	79,1

Tabela 22 – Resultado final e subíndices do IQA_{FAL} no ponto de coleta RN210 (rio Rainha)

Datas	**IQA_{FAL}**	**Classificação**	Subíndice Nutrientes	Subíndice Carga Orgânica	Subíndice Despejos Domésticos	Subíndice Biológico	Subíndice Trófico
jun-07	**37,5**	**Ruim**	37,5	80,0	37,2	60,8	37,9
set-07	**37,5**	**Ruim**	47,2	80,0	37,2	93,9	65,5
abr-08	**37,5**	**Ruim**	38,6	80,0	37,2	88,5	60,1
jul-08	**37,5**	**Ruim**	37,5	80,0	37,2	96,8	60,0
nov-08	**37,4**	**Ruim**	49,6	79,5	37,0	73,8	53,2
mar-10	**37,5**	**Ruim**	78,9	80,0	37,2	73,5	75,5
jul-10	**37,5**	**Ruim**	97,1	80,0	37,2	83,6	95,7
set-10	**10,5**	**Péssimo**	37,5	52,5	10,2	93,0	60,0

Tabela 23 – Resultado final e subíndices do IQA_{FAL} no ponto de coleta RN040 (rio Rainha)

Datas	**IQA_{FAL}**	**Classificação**	Subíndice Nutrientes	Subíndice Carga Orgânica	Subíndice Despejos Domésticos	Subíndice Biológico	Subíndice Trófico
jun-07	**37,5**	**Ruim**	37,5	80,0	37,2	69,9	47,3
set-07	**20,6**	**Péssimo**	37,5	70,6	24,1	59,8	37,7
abr-08	**37,5**	**Ruim**	37,5	80,0	37,2	60,6	37,8
jul-08	**37,5**	**Ruim**	37,5	79,9	37,1	78,9	59,3
nov-08	**10,2**	**Péssimo**	10,1	37,7	10,1	65,1	37,5
mar-10	**37,5**	**Ruim**	13,4	79,9	37,1	70,6	37,6
jul-10	**37,5**	**Ruim**	60,2	80,0	37,2	60,0	59,9
set-10	**10,2**	**Péssimo**	10,1	46,7	10,1	80,5	37,5

Tabela 24 – Resultado final e subíndices do IQA_{FAL} no ponto de coleta RN310 (rio Rainha)

Datas	**IQA_{FAL}**	**Classificação**	Subíndice Nutrientes	Subíndice Carga Orgânica	Subíndice Despejos Domésticos	Subíndice Biológico	Subíndice Trófico
jun-07	**10,2**	**Péssimo**	10,1	10,2	10,1	65,7	37,5
set-07	**10,2**	**Péssimo**	10,2	38,3	10,1	70,9	37,5
abr-08	**10,2**	**Péssimo**	37,5	37,4	10,1	59,9	37,7
jul-08	**10,2**	**Péssimo**	10,1	60,5	10,6	60,1	37,2
nov-08	**10,2**	**Péssimo**	10,1	43,4	10,1	87,9	37,5
mar-10	**10,2**	**Péssimo**	10,2	52,5	10,2	59,9	37,1
jul-10	**10,2**	**Péssimo**	10,1	33,7	10,1	86,9	37,5
set-10	**10,2**	**Péssimo**	10,1	10,2	10,1	83,8	37,5

Tabela 25 – Resultado final e subíndices do IQA_{FAL} no ponto de coleta RN020 (rio Rainha)

Datas	IQA_{FAL}	Classificação	Subíndice Nutrientes	Subíndice Carga Orgânica	Subíndice Despejos Domésticos	Subíndice Biológico	Subíndice Trófico
jun-07	10,2	Péssimo	10,1	31,3	10,1	59,9	37,1
set-07	10,2	Péssimo	10,1	33,6	10,1	48,1	18,4
abr-08	10,2	Péssimo	37,5	61,6	10,9	65,3	40,4
jul-08	10,3	Péssimo	33,4	60,9	10,7	81,1	59,0
nov-08	10,2	Péssimo	13,4	50,5	10,2	60,1	37,3
mar-10	10,3	Péssimo	33,4	64,1	12,5	81,9	59,0
jul-10	37,5	Ruim	78,9	80,0	37,1	69,9	69,9
set-10	10,2	Péssimo	25,2	36,5	10,1	93,5	47,8

Tabela 26 – Resultado final e subíndices do IQA_{FAL} no ponto de coleta RN010 (rio Rainha)

Datas	IQA_{FAL}	Classificação	Subíndice Nutrientes	Subíndice Carga Orgânica	Subíndice Despejos Domésticos	Subíndice Biológico	Subíndice Trófico
jun-07	10,2	Péssimo	10,1	43,3	10,1	75,0	37,5
set-07	10,2	Péssimo	10,1	17,4	10,1	51,4	26,0
abr-08	10,2	Péssimo	37,5	60,9	10,7	45,6	37,5
jul-08	10,2	Péssimo	37,5	60,2	10,5	60,1	37,7
nov-08	10,2	Péssimo	22,7	45,6	10,1	59,8	37,3
mar-10	10,2	Péssimo	33,4	45,2	10,1	59,9	37,4
jul-10	37,5	Ruim	37,5	79,5	37,0	63,7	39,1
set-10	10,2	Péssimo	10,2	16,9	10,1	91,3	37,5

Na sub-bacia do rio Rainha os resultados para o IQA_{FAL}, no ponto RN050, mostraram-se bastantes distintos um do outro, oscilando entre as categorias “PÉSSIMO”, “RUIM”, “REGULAR” e “BOM”. Observou-se que as categorias “BOM” e “RUIM” predominaram, destacadas pelas cores verde e laranja, respectivamente. Notou-se que, apenas em julho de 2008, o resultado esteve classificado na categoria “REGULAR”, como observado pela cor amarela e, em setembro de 2007, na categoria “PÉSSIMO”, identificada pela cor vermelha.

Já no segundo trecho, ponto RN210, observou-se que o resultado para o IQA_{FAL} se incluiu, predominantemente na categoria “RUIM”, com apenas uma exceção na qualidade de Péssima em setembro de 2010. Ainda no mesmo trecho,

ponto RN040, também caracterizou-se pela cor laranja (“RUIM”), com exceções para a cor vermelha (“PÉSSIMA”) em setembro de 2007 e 2010 e novembro de 2008.

No ponto RN310, notou-se somente a cor vermelha, isto é, todos os resultados do IQA_{FAL} se encontram na categoria “PÉSSIMO”.

No quarto trecho, tanto para o ponto RN020 quanto para o ponto RN010, os resultados ficaram majoritariamente na categoria “PÉSSIMO”, identificada pela cor vermelha, entretanto, em julho de 2010, observou-se ocorrência da cor laranja, característica da categoria “RUIM”.

Com o intuito de se ter uma melhor visão dos resultados do IQA_{FAL}, estes resultados são apresentados em gráficos de pizza, indicando percentualmente os resultados nas categorias “PÉSSIMO”, “RUIM”, “REGULAR”, “BOM” e “EXCELENTE”, em cada estação de coleta (Figura 30).

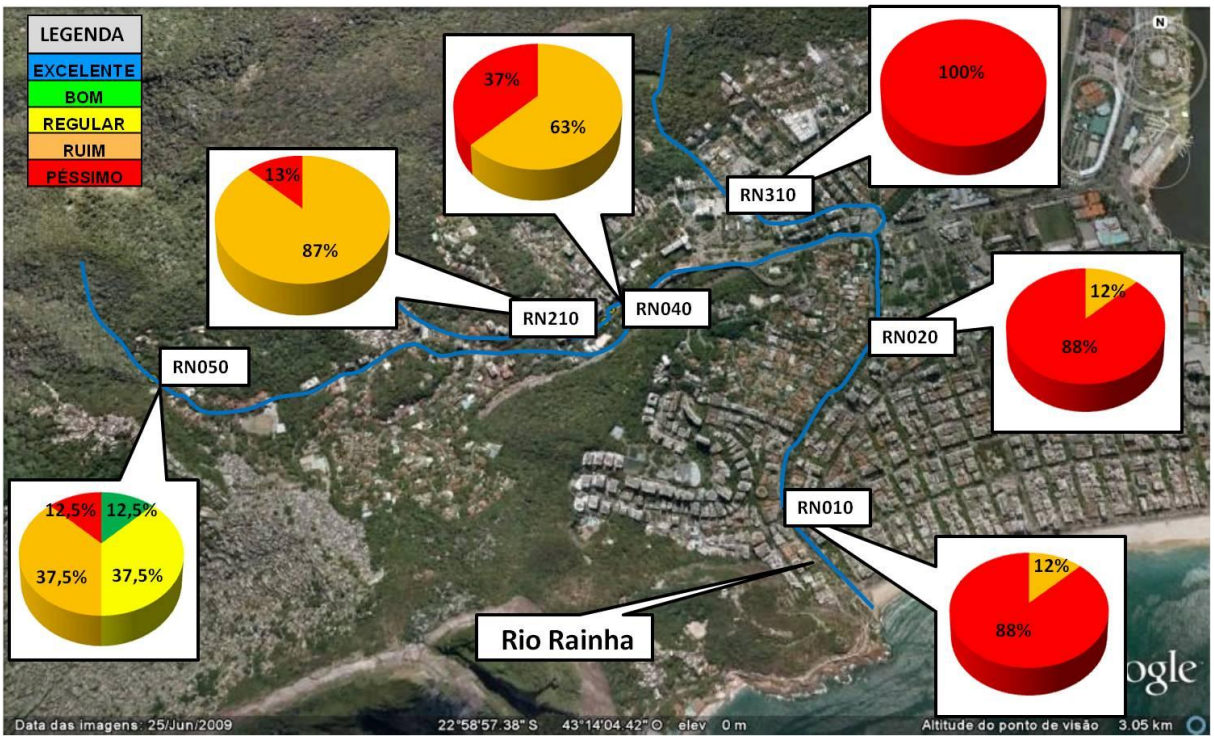


Figura 30 - Mapa com os percentuais de resultados do IQA_{FAL}, em cada categoria, em cada ponto de coleta do rio Rainha

A partir dos resultados encontrados do IQA_{FAL}, o rio Rainha destaca-se como o de qualidade mais comprometida, dentre os rios da Bacia da Lagoa Rodrigo de Freitas. Há intensa ocupação urbana mesmo na área do alto curso, tanto por comunidades de baixa renda, com alto adensamento populacional e ausência de

infraestrutura sanitária, quanto por condomínios de luxo e colégios de alto padrão social, que convivem nestes espaços. A área de baixo curso também possui urbanização intensa e ocupação das faixas marginais.

Estas características refletem-se nos resultados. O ponto RN050, no primeiro trecho, apresentou os maiores percentuais de resultados do IQA_{FAL}, dividindo-se dentro das faixas de valores das categorias “RUIM” e “REGULAR”: 37,5% em cada uma. No trecho que se segue, Rainha 2, pontos RN210 e RN040, os maiores percentuais ocorreram na faixa de valores da categoria “RUIM”, com 87% e 63%, respectivamente. No Rainha 3, terceiro trecho, ponto de coleta RN310, a qualidade da água se mostrou 100% na faixa de valores da categoria “PÉSSIMO”. Finalmente, nos pontos situados no baixo curso do rio - RN020 e RN010 -, o resultado predominante situa-se na faixa de valores da categoria “PÉSSIMO”, com 88% do total para ambos os pontos de coleta.

3.3.2 Análise comparativa com IQA_{CETESB}

Após calcular o IQA_{CETESB} com as mesmas séries de dados de qualidade de água, nos mesmos pontos de coleta do rio Rainha, procedeu-se à comparação com os resultados do IQA_{FAL}, apresentados no item anterior. Plotados, novamente, em gráficos de pizza (Figura 31).

No ponto de coleta RN050, parte montante do rio, predominou a categoria “BOM” no IQA_{CETESB}, com 50% dos resultados situados nessa faixa. Este resultado contrasta com o IQA_{FAL}, em que as categorias “REGULAR” e “RUIM” são predominantes.

O segundo trecho de amostragem, pontos RN0210 e RN040, situa-se sobretudo na categoria “REGULAR” pelo IQA_{CETESB}, com 87% e 62% dos resultados, respectivamente. Já a qualidade de água dos mesmos pontos, calculados pelo $IQA_{FAL,}$ é sensivelmente mais comprometida: ambos encontram-se na categoria “RUIM”, com 87% e 63%, respectivamente. Nota-se que são porcentagens praticamente iguais, porém caracterizando categorias de faixas diferentes.

O ponto RN310 apresentou 75% de seus resultados na categoria “RUIM” pelo IQA_{CETESB}, sensivelmente melhor que os resultados obtidos através do IQA_{FAL} (100% na categoria “PÉSSIMO”). No baixo curso do rio Rainha, o ponto de coleta RN020

manteve-se tanto na categoria “REGULAR” quanto na categoria “RUIM”, com 50% dos resultados em cada faixa do IQA_{CETESB}. Já o ponto RN010 apresentou seus maiores percentuais na categoria “RUIM”, com 63% do resultado final do IQA_{CETESB}. Como observado anteriormente, a metodologia IQA_{FAL} apresenta resultados mais severos, com 88% do percentual na categoria “PÉSSIMO” para ambos os pontos de coleta.

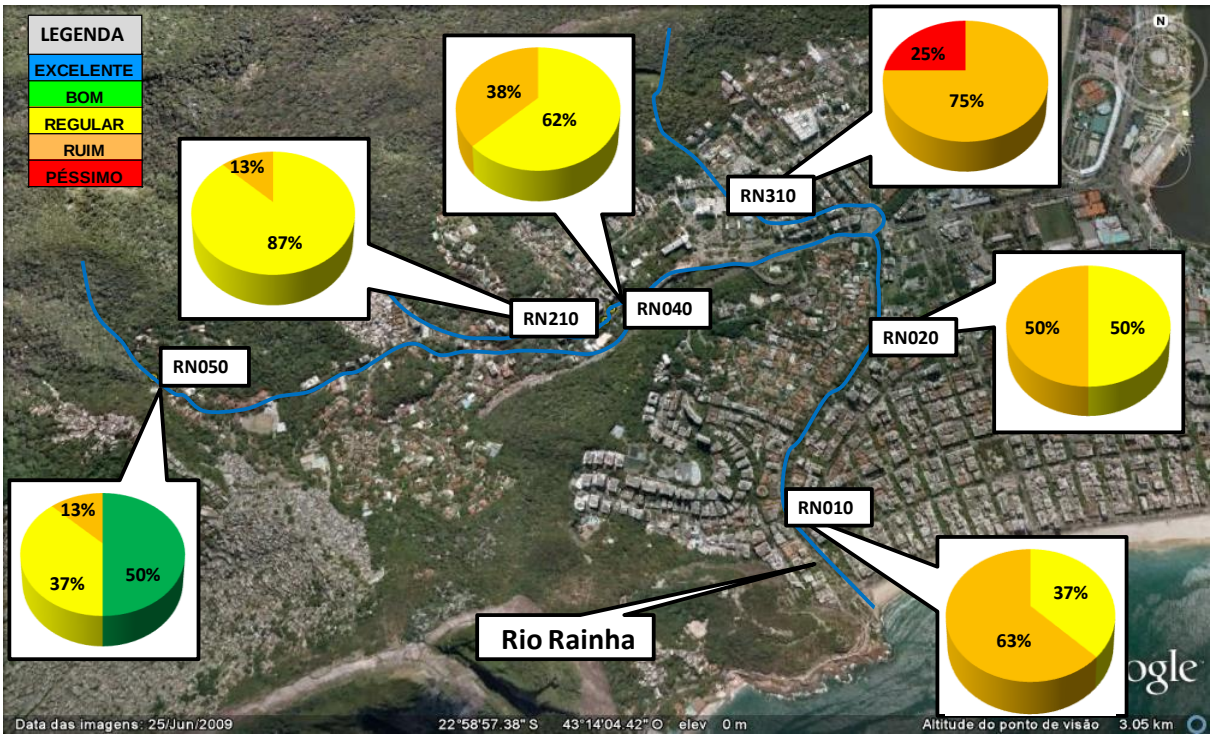


Figura 31 - Mapa com os percentuais de resultados do IQA_{CETESB}, em cada categoria, em cada ponto de coleta do rio Rainha

3.4. Considerações finais

Para visualizar mais rapidamente a diferença dos resultados obtidos utilizando-se a metodologia do IQA_{FAL} e a do IQA_{CETESB}, nos diferentes pontos de coleta dos rios dos Macacos, Cabeça e Rainha, foi elaborada a Tabela 27.

Tabela 27 – Comparação entre os resultados obtidos com o IQA_{FAL} e o IQA_{CETESB} para os rios dos Macacos, Cabeça e Rainha (2003-2010)

		IQA_{FAL}		IQA_{CETESB}	
		Porcentagem	**Categoria**	**Porcentagem**	**Categoria**
rio dos Macacos	**MC085**	73%	Bom	82%	Bom
	MC075	91%	Ruim	82%	Regular
	MC055	45,5 - 45,5%	Ruim - Péssimo	73%	Regular
	MC050	91%	Ruim	82%	Regular
rio Cabeça	**CB085**	86%	Bom	100%	Bom
	CB080	89%	Ruim	89%	Regular
	CB075	87%	Ruim	87%	Regular
	CB070	62%	Ruim	50 - 50%	Regular - Ruim
rio Rainha	**RN050**	37,5 - 37,5%	Regular - Ruim	50%	Bom
	RN210	87%	Ruim	87%	Regular
	RN040	63%	Ruim	62%	Regular
	RN310	100%	Péssimo	75%	Ruim
	RN020	88%	Ruim	50 - 50%	Regular - Ruim
	RN010	88%	Ruim	63%	Ruim

Observa-se que o IQA_{FAL} apresenta, sistematicamente, resultados mais severos que o $IQA_{CETESB,}$ em todos os pontos de coleta dos três rios estudados.

Embora a metodologia do IQA_{CETESB} gere resultados através de uma média ponderada de valores normalizados dos parâmetros utilizados, e ainda incorpore a subjetividade do conhecimento dos especialistas mediante atribuição de pesos diferenciados para cada parâmetro, este índice não é capaz de evitar o efeito eclipse; efeito este que atenua o impacto negativo de uma das variáveis frente ao comportamento estável das demais (PESSOA, 2010). Ou seja, o IQA_{CETESB} homogeniza os resultados, categorizando-os, predominantemente, na categoria “REGULAR”, dificultando, portanto, a detecção de extremidades “EXCELENTE” ou “PÉSSIMO”.

No entanto, observa-se que a tendência de melhoria ou de piora de qualidade das águas desses rios, ao longo do seu curso, é capturada da mesma forma pelos dois índices de qualidade de água. Ambos mostraram a diferenciação espacial ao longo da calha do rio, com uma qualidade geralmente pior junto à foz e, melhor junto às suas nascentes. Entretanto, vale destacar que os dois índices detectaram esta tendência de forma distinta, que se mostrou mais acentuada no IQA_{FAL}.