

Metodologia para avaliação de condições de balneabilidade em águas doces no Brasil

Frederico Wagner de Azevedo Lopes, Antônio Pereira Magalhães Júnior

Instituto de Geociências – UFMG – Departamento de Geografia, Belo Horizonte-MG

fredericolopes@ufmg.br; magalhaesufmg@yahoo.com.br

Eduardo Von Sperling

Escola de Engenharia – UFMG – Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Belo Horizonte-MG

eduardo@desa.ufmg.br

Recebido: 23/11/13 - revisado: 20/03/14 - aceito: 11/07/14

RESUMO

A utilização das águas para a prática de atividades de lazer sempre esteve presente na cultura humana, principalmente em países de clima favorável e com vasta riqueza de recursos hídricos. Esse uso, tendo em vista o risco oferecido à saúde humana, demanda requisitos específicos de qualidade da água, ou seja, que atendam às condições de balneabilidade. Neste contexto, este trabalho propõe uma metodologia para a avaliação das condições de balneabilidade em águas doces no Brasil, visando aprimorar os métodos atualmente adotados, através da construção de um índice integrado de qualidade da água voltado para a balneabilidade. O índice proposto foi baseado no método do mínimo operador, apresentando as variáveis Escherichia coli, densidade de cianobactérias, turbidez e pH. Conforme os resultados obtidos, a qualidade das águas de determinado balneário é classificada em Excelente, Muito boa, Satisfatória, Imprópria ou Muito ruim. O trabalho buscou contribuir para o processo de gestão do uso recreacional das águas, visando aprimorar a avaliação e divulgação das condições de balneabilidade em águas doces no Brasil, além de subsidiar a realização de novos estudos específicos, de forma a assegurar melhores condições de salubridade aos usuários.

Palavras Chave: Índice de qualidade da água. Balneabilidade. Gestão de recursos hídricos.

INTRODUÇÃO

A utilização dos recursos hídricos para fins de recreação tem sido crescente ao longo dos últimos anos no Brasil, devido, especialmente à busca pelo desenvolvimento de atividades em contato com o meio natural, em contraposição à vida moderna nos grandes centros urbanos.

Apesar da crescente utilização das águas para fins recreacionais, nota-se uma carência de estudos e programas de monitoramento que avaliem as condições de balneabilidade, especialmente em balneários de águas doces, o que favorece o contato de banhistas com águas contaminadas por efluentes domésticos e/ou industriais.

Atualmente, no Brasil, a avaliação de balneabilidade, deve atender aos padrões estabelecidos pela Resolução CONAMA 274, de 29 de novembro de 2000. De acordo com a referida resolução, as condições de balneabilidade das águas doces são avaliadas em categorias, definidas de acordo com os teores de coliformes fecais (termotolerantes) ou *Escherichia coli*.

Tais indicadores, no entanto, não demonstram, necessariamente a origem humana do material fecal, tendo em vista que a *E.coli* pode também ser encontrada em fezes de outros animais. Além disso, tais parâmetros não são bons indicadores da presença de protozoários e vírus entéricos (Von SPERLING,

2005).

Além disso, os banhistas estão expostos a riscos de outra natureza, tais como físicos (visibilidade) e outras substâncias que possam oferecer riscos à saúde dos mesmos.

Uma das principais dificuldades dos gestores ambientais é certamente a conversão de dados complexos em informações compreensíveis e acessíveis ao público não técnico. Desta forma, diversas áreas do conhecimento que estudam temas como poluição atmosférica, qualidade da água e economia, têm se utilizado de índices que, independentemente do objeto de estudo, visam converter determinada série de dados em uma informação sucinta e inteligível (SMITH, 1989).

Neste contexto, a utilização de índices de qualidade da água tem crescido ao longo dos últimos anos, devido à sua aplicabilidade em transmitir informações sobre o grau de poluição de corpos hídricos. Entretanto, grande parte dos índices desenvolvidos apresentaram limitações de aplicação, devido, especialmente, à perda de informações durante o processo de agregação e a interferência de uma variável sobre a outra (NAGELS et al., 2001).

Desta forma, o processo de desenvolvimento de um índice de qualidade da água adotando-se o princípio do mínimo operador, conforme propõe Smith (1990), busca eliminar tais efeitos, além de permitir a inclusão ou exclusão de variáveis,

sem interferir no resultado global do índice. Entretanto, a formulação de índices baseados na utilização do processo mínimo operador apresenta melhor aplicação para fins de avaliação de usos específicos e restritivos da água.

Portanto, este sistema de classificação aparece como uma alternativa para se evitar uma classificação inadequada, geralmente promovida pelo uso de índices, ainda mais se considerarmos todos os parâmetros que compõem o índice como fundamentais e restritivos ao uso, em especial, usos para fins de potabilidade e recreação de contato primário.

A partir da contextualização anterior, este trabalho tem por objetivo principal o desenvolvimento de uma metodologia para a avaliação das condições de balneabilidade em águas doces no Brasil, visando aprimorar os métodos atualmente adotados, através da proposição de um índice integrado de qualidade da água. Para tal, considera-se a praticidade do índice na transmissão das informações ao público frequentador dos balneários.

MATERIAL E MÉTODOS

Para o levantamento das variáveis de qualidade da água mais significativas para a avaliação do uso recreacional de contato primário das águas doces no Brasil, optou-se pela utilização da técnica *Delphi* (LINSTONE; TUROFF, 1975). Deste modo, foram consultados 18 especialistas nos temas de qualidade das águas, saneamento e saúde pública, atuantes em universidades, órgãos ambientais e empresas de saneamento. Tais profissionais foram selecionados através da Plataforma *Lattes* do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, sendo selecionados aqueles com a maior titulação, além da produção técnica e científica correlacionada ao tema da pesquisa.

Solicitou-se aos convidados, a avaliação de 43 parâmetros previamente selecionados, e sua influência na balneabilidade de águas doces no Brasil. Foi adotada a técnica de questionário eletrônico, realizado em duas rodadas. Em ambas as rodadas os participantes poderiam sugerir a inserção de outros parâmetros, sendo que no último questionário, foi solicitado aos participantes a seleção de seis parâmetros mais relevantes para a composição de um índice de balneabilidade, no intuito de se obter os mais relevantes.

Para a seleção dos parâmetros que deveriam compor o índice foram considerados diversos fatores como: resultado do painel de especialistas, relevância junto à literatura especializada, notadamente as evidências epidemiológicas e diretrizes internacionais (DUFOUR, 1984; PRUSS, 1998; ANZECC/ARMCANZ, 2000; NZME, 2003; EU, 2006; HC, 2010). Além de considerar a viabilidade de implementação (duração e custos das análises, disponibilidade em laboratórios e possibilidade de avaliação *in situ*).

Devido aos elevados custos inerentes a este tipo de monitoramento, o índice proposto contém quatro parâmetros de qualidade da água. Como o monitoramento de balneabilidade, normalmente, é realizado com frequência semanal, entende-se que um elevado número de parâmetros, alguns com alta complexidade laboratorial de análise, poderia inviabilizar sua utilização

na maior parte dos balneários de água doce.

Os valores de referência (curvas de qualidade), utilizados neste trabalho, foram fundamentados junto a estudos epidemiológicos e legislação específica, quando disponível. Nestes casos, onde o padrão é estipulado pela legislação, foi adotado como referência o valor de 50 para a curva q, correspondendo ao limite inferior da classe de qualidade denominada Satisfatório, ou seja, a água seria considerada como própria ao uso recreacional de contato primário, caso o resultado do índice fosse maior ou igual a 50.

No entanto, parte dos parâmetros integrantes do índice não possui valores de referência estabelecidos, como é o caso dos parâmetros de natureza estética como a turbidez. Deste modo, foram adotados como referência os valores estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/2005, por meio da distinção de classes de qualidade de água e da utilização da relação inversamente proporcional existente entre turbidez e claridade visual da água. Esta relação é utilizada como critério na Nova Zelândia, país com ampla experiência e com diversos projetos desenvolvidos sobre qualidade e o uso recreacional das águas.

Para a formulação do índice proposto, foi adotada a metodologia do mínimo operador, conforme proposto nos trabalhos de Smith (1989, 1990) e Nagels et al. (2001). Esta escolha foi realizada no intuito de se evitar a perda de informações na agregação dos resultados devido à interferência do resultado de um parâmetro sobre o outro. Neste contexto, não foram atribuídos pesos aos parâmetros que compõem o índice, pois entende-se que a variável limitante (o parâmetro de pior desempenho), deveria representar o resultado geral do índice, especialmente em casos de usos restritivos da água como a recreação de contato primário.

A partir da determinação dos valores de referência, foram traçadas as curvas de qualidade por meio de regressões polinomiais, determinando as equações e o resultado do teste R^2 para avaliação da qualidade da curva gerada. A regressão polinomial é utilizada para o desenvolvimento de curvas de qualidade em índices de qualidade da água (PNMA, 2003; SOUZA & LIBÂNIO, 2009; DAVIES-COLLEY; BALLANTINE, 2010).

As equações geradas com o desenvolvimento da curva de qualidade permitem o cálculo dos valores do subíndice (q) para cada parâmetro do índice, possibilitando o seu enquadramento na respectiva classe de qualidade proposta para o índice.

A definição das faixas de qualidade do Índice de Condições de Balneabilidade - ICB, deu-se a partir de uma adaptação da classificação das águas recreacionais proposta na Resolução CONAMA 274/2000, com base na concentração de Coliformes termotolerantes ou *E. coli* nas águas. Às quatro classes propostas na Resolução - Excelente, Muito Boa, Satisfatória e Imprópria – foi adicionada a classe denominada “Muito ruim”.

Esta inclusão, para a classificação final dos resultados, foi motivada pela possibilidade de níveis elevados de contaminação que justificariam uma interdição imediata e demandariam ações e/ou intervenções diferenciadas por parte dos gestores dos balneários para reduzir o risco à saúde dos usuários.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Variáveis e curvas de qualidade

A elaboração de curvas de qualidade para os parâmetros integrantes do índice, parte do pressuposto de que a qualidade da água para determinado uso varia gradualmente, não sendo restrita apenas aos valores estabelecidos como próprio ou impróprio (DAVIES-COLLEY; WILLCOCK, 2004). Desta forma, a representação desta variação em diferentes classes consiste em uma ferramenta de gestão mais adequada à verificação de tendências e, consequentemente, ao processo de tomada de decisão.

A partir da avaliação de diversas variáveis de qualidade de água através da realização do painel Delphi, foi possível vislumbrar quais seriam as mais aplicáveis ao contexto brasileiro. Cabe ressaltar, que todo painel de especialistas reflete a opinião do grupo respondente, não sendo, necessariamente, o consenso dos profissionais da área. Entretanto, em função de o grupo consultado possuir representantes dos principais setores que lidam diretamente com o tema (universidades, órgãos ambientais estaduais e empresas de saneamento), os resultados demonstram importantes tendências para a avaliação de condições de balneabilidade em águas doces no Brasil (Tabela 1).

Tabela 1 - Parâmetros com percentual de inclusão acima de 60% ao longo do painel Delphi

Parâmetro	Pesos	
	1ª rodada	2ª rodada
<i>Escherichia coli</i>	13,7	11,3
Óleos e graxas	6,7	5,8
pH	8,6	5,52
Densidade de cianobactérias	8,2	6,02
Nitrogênio amoniacal total	-	6,88
Turbidez	-	5,72
Oxigênio dissolvido	-	5,42
<i>Enterococcus</i>	-	5,28

Nota: (-) Não obtiveram 60% de percentual de inclusão na referida rodada

Desta forma, considerando a opinião dos especialistas consultados, bem como os critérios utilizados pelas principais agências ambientais internacionais e estudos correlatos, os parâmetros selecionados para a composição do Índice de condições de balneabilidade e seus respectivos objetivos seguem apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Parâmetros de qualidade da água selecionados para compor o Índice de Condições de Balneabilidade – ICB.

Parâmetro	Aplicação
<i>Escherichia coli</i>	Indicador de contaminação fecal (Riscos de infecção por patógenos)
Densidade de cianobactérias	Riscos à saúde humana e aspectos estéticos
pH	Segurança e conforto para a prática recreacional (Irritações de olhos e pele)
Turbidez	Fatores de segurança e estéticos para a prática recreacional

Devido especialmente aos riscos de incidência de doenças a partir de atividades recreacionais de contato primário com as águas, os indicadores microbiológicos, como a *E.coli*, foram os mais bem avaliados pelo grupo de especialistas consultados (100% de inclusão). Além disto, sua utilização para fins de classificação das águas doces segundo a balneabilidade, apresenta consenso, dentre as principais diretrizes e estudos epidemiológicos correlatos, como o melhor indicador da presença de material de origem fecal nas águas e sua relação com a incidência de infecções gastrointestinais (DUFOUR, 1984; PRUSS, 1998).

Para a atribuição das escalas das classes de qualidade e o desenvolvimento da curva de qualidade para *E.coli* (Figura 2; Tabela 3), foram adotados os valores de referência já determinados pela Resolução CONAMA 274/2000, haja vista a inexistência de estudos epidemiológicos específicos para o ambiente brasileiro. Ademais, a classificação proposta nesta Resolução é devidamente regulamentada no país, com valores condizentes aos apresentados nos estudos epidemiológicos desenvolvidos para águas doces.

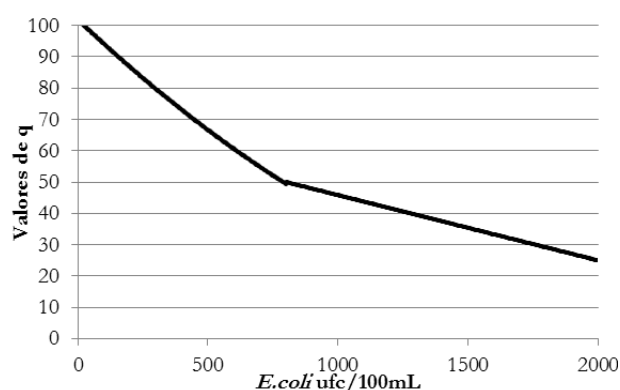


Figura 2 - Curva de qualidade (q) para *E.coli*

Tabela 3 - Equações para o cálculo de q para *E.coli*.

<i>E.coli</i> (ufc/100mL)	Equação
$E.coli < 800$	$y = 2E-05x^2 - 0,0785x + 101,82$
$800 \leq E.coli \leq 3157$	$y = -0,0208x + 66,667$
$E.coli > 3157$	$q=1$

De acordo com a referida Resolução, as águas doces são consideradas impróprias quando a concentração de *E.coli* for maior que 800 ufc/100mL devido ao risco de incidência de doenças, especialmente gastroenterites. Este valor chega a ser até mais restritivo comparado ao limite de 900 ufc/mL adotado pela Diretiva Europeia 2006/7/EC.

Na proposta desse trabalho, o valor de 2000 ufc/100 mL, foi adotado como referência para a classe Muito Ruim, já que é o valor utilizado pela própria Resolução CONAMA 274/2000 como padrão para condições impróprias para balneabilidade, caso este valor seja excedido na última amostragem em uma

série de 5 amostras.

A referida resolução ainda dispõe sobre a necessidade de investigação de organismos patogênicos, caso a contaminação verificada seja sistemática, embora não defina tais critérios.

Já a Portaria 2914 de 2011 do Ministério da Saúde, referente aos padrões de potabilidade, recomenda monitoramento de *Giardia* spp. e oocistos de *Cryptosporidium* spp., para os sistemas de abastecimento que utilizam águas de mananciais superficiais, no caso dos níveis de atingirem média geométrica anual superior a 1000 *E.coli*/100mL.

Neste sentido, este procedimento poderia ser uma alternativa para os balneários, caso estes sejam enquadrados frequentemente na classe denominada imprópria (ou seja, caso sejam classificados como muito ruins), devido aos altos níveis de contaminação previstos na classe proposta.

Outra tendência observada a partir do painel Delphi, consistiu na preocupação em se inserir um parâmetro que indicasse uma possível contaminação por cianotoxinas, devido às constantes florações de algas em ambientes aquáticos tropicais e subtropicais e, consequentemente, aos possíveis riscos à saúde. Neste sentido, a densidade de cianobactérias foi o segundo indicador mais bem avaliado pelos especialistas consultados, com 91,6 % de inclusão ao final da segunda rodada.

Conforme Stewart et al. (2006), apesar da escassez de evidências epidemiológicas conclusivas sobre os riscos associados ao uso recreacional das águas com florações de cianobactérias, a *World Health Organization* -WHO e países como a Austrália, Canadá e diversas nações europeias têm recomendado, em suas diretrizes, níveis limítrofes de cianobactérias para a recreação de contato primário. Desta forma, fica evidenciada a relevância da utilização de densidade de cianobactérias como critério para classificação e avaliação de condições de balneabilidade.

Além dos riscos à saúde, florações de algas podem se tornar esteticamente repulsivas ao uso recreacional devido a formações de nata e à possibilidade de odores desagradáveis. Desta forma, o sabor e odor da água podem ser usados como sinais de alerta para ocorrência de cianobactérias. Contudo, é importante destacar que a ausência de sabor e odor não implica na ausência de cianobactérias e, consequentemente, de cianotoxinas (CHORUS; BARTHAM, 1999).

No Brasil, a Resolução CONAMA 274/2000 não estabelece padrões para densidade de cianobactérias em águas recreacionais. Porém, as escalas e os valores adotados como referência para elaboração da curva de qualidade - q (Figura 3 e Tabela 4) foram estipulados a partir das seguintes referências: Resolução CONAMA 357/2005, que estabelece tais valores para as classes de uso dos corpos hídricos, Portaria 2914 de 2011 do Ministério da Saúde, Deliberação Normativa Conjunta do COPAM/CERH01/2008 e por trabalhos correlatos (PILLOTO et al., 1997; CHORUS; BARTHAM, 1999; FUNASA, 2003; NZMFE, 2009).

O valor de densidade de cianobactérias proposto para a classe “Excelente” foi estipulado a partir da diretriz adotada na Nova Zelândia, a qual estabelece o valor de 500 cel/mL como limite para a classe de melhor qualidade em seu sistema de classificação, conforme NZMFE (2009). Já o valor de 5.000 cel/mL, estipulado para a classe de qualidade superior ao limite

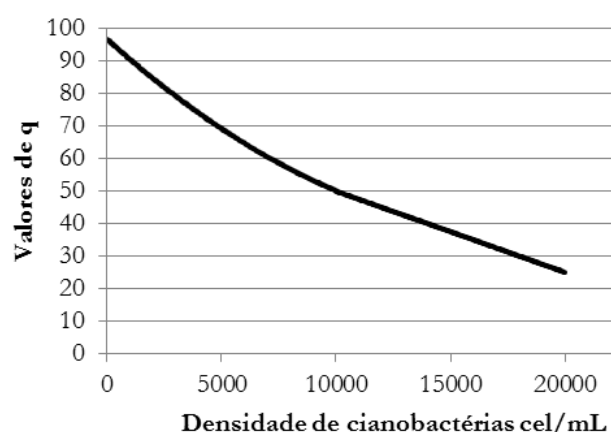


Figura 3 - Curva de qualidade (q) para Densidade de Cianobactérias

Tabela 4 - Equações para o cálculo de q para Densidade de cianobactérias

Cianobactérias (cel/mL)	Equação
0 < DC < 10.000	$y = 2E-07x^2 - 0,0063x + 96,834$
$10.000 \leq DC < 20.000$	$y = -0,0025x + 75$
$20.000 \leq DC < 100.000$	$y = -0,0003x + 31$
$DC \geq 100.000$	$q = 1$

de uso proposta neste trabalho, deu-se em função de estudo epidemiológico desenvolvido por Pilloto et al. (1997), no qual foi verificado que a partir da exposição dos banhistas a águas com concentrações superiores ao referido valor, apresentaram incidência de sintomas significativamente maior que ao dos usuários não expostos.

Para mananciais de abastecimento a FUNASA (2003) recomenda que valores entre 10.000 e 20.000 cel/mL indicam o início de uma floração de cianobactérias, sendo que, caso se verifique um aumento do número de células em um conjunto de pelo menos três amostras consecutivas, recomenda-se o monitoramento semanal do manancial. As florações de algas com densidades entre 20.000 a 100.000 cel/mL confirmam a degradação da qualidade da água (sendo a floração já visível no corpo hídrico), enquanto valores acima de 100.000 cel/mL indicariam alto risco aos usuários, especialmente nos casos em que a floração apresentar gêneros potencialmente tóxicos.

As diretrizes para águas recreacionais na Austrália e no Canadá recomendam o limite de 20.000 e 100.000 cel/mL, respectivamente, para a recreação de contato primário. No entanto, Pilloto et al. (1997) questionam a adoção do limite de 20.000 cel/mL, por considerá-lo insuficiente para assegurar menores riscos à saúde dos banhistas.

No caso do Brasil, a Resolução CONAMA 357/2005, estabelece que o padrão para densidade de cianobactérias para

águas doces enquadradas na classe 2, na qual está inserida a recreação de contato primário, é de 20.000 cel/mL. Entretanto, a Deliberação Normativa Conjunta do COPAM/CERH 01/2008, que estabelece os padrões para classificação da qualidade das águas no estado de Minas Gerais, determinou o valor de 10.000 cel/mL como o limite para a recreação de contato primário. Deste modo, este valor foi utilizado como limite para o uso de contato primário.

Dentre os parâmetros comumente associados aos aspectos estéticos visuais da qualidade da água, a turbidez foi o parâmetro mais frequente (66,6%) na avaliação dos especialistas consultados. Sua importância para fins de balneabilidade também ficou destacada pelo peso médio obtido (5,72), sendo este mais elevado do que os observados para parâmetros como oxigênio dissolvido e pH, os quais são recorrentes em estudos de qualidade da água.

A turbidez, medida em unidades nefelométricas (UNT), consiste em um parâmetro frequentemente utilizado por instrumentos regulatórios para descrever a visibilidade em águas doces, pois além de ser um fator estético, a segurança da atividade recreacional também é influenciada pela capacidade do banhista em visualizar possíveis ameaças, como a presença de rochas e cavidades submersas. A turbidez também apresenta grande praticidade quanto ao baixo custo e à rapidez para a obtenção de resultados. Entretanto, Davies-Colley; Smith (2001) e Steel; Neuhauser (2002) apontam o parâmetro claridade, medida através do método *Black Disc*, como o mais adequado para avaliar a claridade visual das águas.

Conforme Nagels et al. (2001), a turbidez pode ser adotada para avaliação da claridade em águas recreacionais, pois apresenta comportamento inverso à claridade visual. A turbidez corresponderia a aproximadamente três vezes o valor da claridade, medida através do *Black Disc* (SMITH et al., 1997) e a quatro vezes a claridade visual medida através do disco de *Secchi* (DAVIES-COLLEY et al., 1993).

Portanto, a turbidez pode ser um recurso válido para a avaliação da claridade visual das águas especialmente em locais onde é um parâmetro recorrente em programas de monitoramento que não contemplam medições diretas de claridade visual. No caso do Brasil, cabe ressaltar que a claridade visual medida através do *Black Disc* ainda não foi adotada, o que consiste em um fator limitante para a sua adoção imediata no índice proposto.

A Resolução CONAMA 357/2005 estabelece os valores de 40 e 100 UNT como limítrofes para cursos d'água enquadrados nas classes 1 e 2, respectivamente, as quais preveem o uso recreacional de contato primário. Porém, além da resolução específica para fins de balneabilidade não determinar tais valores, águas com turbidez de 40 UNT possuiriam uma claridade de 7,5 cm, o que seria insuficiente para possibilitar a identificação de quaisquer riscos no leito de um corpo hídrico, pelos usuários.

Deste modo, os valores de referência para a elaboração da curva de qualidade referente ao parâmetro turbidez (Figura 4 e Tabela 5), foram elaborados considerando critérios relativos à claridade visual. Atribuiu-se o padrão de 10 UNT como o valor máximo ideal indicado para a prática de recreação de contato primário, o que corresponderia ao limite de 30 cm de claridade, próxima do valor de 8 UNT proposto por Nagels et al. (2001)

para o uso recreacional de contato primário.

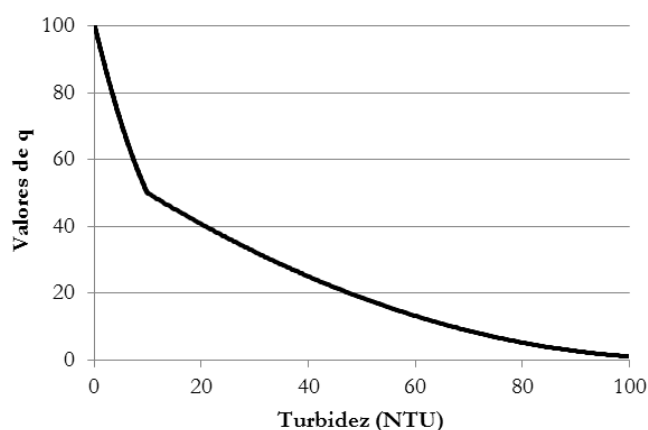


Figura 4 - Curva de qualidade (q) para Turbidez

Tabela 5 - Equações para o cálculo de q para Turbidez

Turbidez (UNT)	Equação
$0 \leq \text{Turbidez} < 10$	$y = 0,1644x^2 - 6,7602x + 100,93$
$10 < \text{Turbidez} < 100$	$y = 0,0048x^2 - 1,0741x + 60,259$
$\text{Turbidez} \geq 100$	$q = 1$

Conforme a Health Canada (1992), em águas com turbidez naturalmente elevada, em níveis que possam comprometer a visibilidade dos banhistas durante a prática recreacional, seria necessária a remoção de ameaças presentes no leito dos corpos d'água (galhos, rochas, bancos de areia), bem como a sinalização da profundidade.

Embora águas turvas não sejam esteticamente agradáveis para a maioria das pessoas, outros fatores, como a alta temperatura do ar, podem influenciar o banhista ao uso recreacional em tais condições de visibilidade (VON SPERLING; VON SPERLING, 2010). Desta forma, o aspecto comportamental é bastante subjetivo, apesar do maior risco de acidentes em águas com baixa visibilidade. Por outro lado, a utilização de águas recreacionais com baixa turbidez, além de fatores estéticos e de riscos físicos, pode contribuir para a redução de riscos à saúde.

Sugere-se, portanto que, nos casos de turbidez elevada para águas doces no Brasil, a recreação possa ser permitida quando não forem detectados riscos de natureza microbiológica, quando não sejam verificadas ameaças no leito do corpo hídrico, bem como quando seja promovida a sinalização de profundidade, de forma a alertar o público frequentador sobre os riscos do mergulho.

Já o pH consiste em uma das variáveis mais utilizadas para a avaliação da qualidade da água no mundo. Está presente nos índices mais adotados (BROWN et al., 1970), além de constar nas principais diretrizes de balneabilidade (HC, 1992, ANZECC/ ARMCANZ, 2000) e no índice para recreação de contato primário proposto por NAGELS et al. (2001).

Os resultados do painel Delphi demonstraram a importância do referido parâmetro para o contexto brasileiro,

conforme a opinião do grupo de especialistas participantes, sendo o terceiro parâmetro mais frequente (83,3%), ao final da segunda rodada.

Em relação aos valores limítrofes de pH para a recreação de contato primário, foram adotados os níveis já estabelecidos pela Resolução CONAMA 274/2000 ($6 \leq \text{pH} \leq 9$) como valores de referência para a elaboração da curva de qualidade - q (Figura 5 e Tabela 6).

Como valor ótimo para a recreação de contato primário ($q=100$), foi adotado o valor de pH 7,4 que, conforme ANZECC/ ARMCANZ (2000), consiste no pH do fluido lacrimal. No entanto, cabe ressaltar que o desconforto pode variar conforme a sensibilidade do usuário, sendo as faixas de qualidade recomendadas apenas como uma referência com base em valores obtidos por NAGELS et al. (2001).

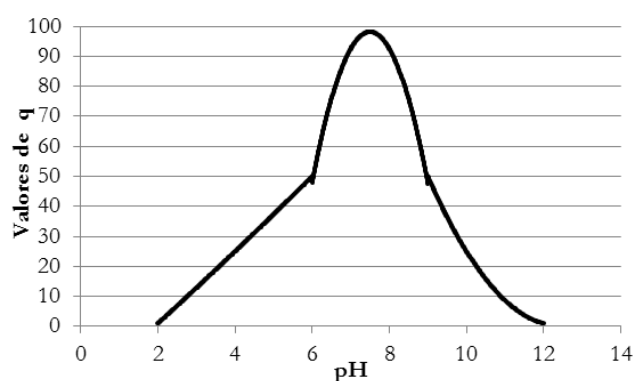


Figura 5 - Curva de qualidade (q) para pH

Tabela 6 - Equações para o cálculo de q para pH

pH	Equação
$\text{pH} \leq 2$	$q = 1$
$2 < \text{pH} \leq 6$	$y = -6,0526x + 100,79$
$6 < \text{pH} < 9$	$y = -4x + 90$
$9 \geq \text{pH} < 12$	$y = 0,0048x^2 - 1,0741x + 60,259$
$\text{pH} \geq 12$	$q = 1$

Índice de condições de Balneabilidade-ICB

As faixas de qualidade, referentes ao índice de balneabilidade, foram estabelecidas a partir de uma adaptação da proposta da Resolução CONAMA 274/2000. Segundo esta resolução, as águas recreacionais podem ser classificadas como Excelente, Muito Boa, Satisfatória e Imprópria, em função da concentração de Coliformes termotolerantes ou *E.coli* nas águas. No entanto, entende-se que a classificação das águas como impróprias pode ocorrer em escalas distintas (magnitude e frequência), o que demandaria uma subclassificação, no intuito de se adotar medidas apropriadas às especificidades das ocorrências verificadas nos balneários.

Neste contexto, determinados balneários podem ser

considerados impróprios em certos períodos, devido ao aumento do escoamento superficial durante eventos chuvosos, ou mesmo outras causas como o extravasamento de uma rede de esgoto, floração de algas, ou outros fatores que possam comprometer temporariamente a classificação da balneabilidade. Outras áreas podem apresentar níveis de contaminação extremamente elevados durante longos períodos, ou até mesmo de forma sistemática, o que demandaria uma investigação aprofundada das causas poluidoras, conforme já previsto pela própria Resolução CONAMA 274/2000 (Artigo 2; parágrafo 5), que recomenda a investigação de organismos patogênicos em balneários sistematicamente impróprios.

Desta forma, optou-se neste trabalho pela inclusão de mais uma classe (Muito Ruim) para a classificação final dos resultados, sendo esta, referente a níveis elevados de contaminação que justificariam interdição imediata até a elaboração de investigações mais aprofundadas sobre o risco à saúde dos usuários.

Os intervalos das faixas de qualidade foram baseados em índices de qualidade da água consagrados e amplamente utilizados, como o de Brown et al.(1970) e o índice específico proposto para a atividade recreacional de Nagels et al.(2001) que também adotou cinco classes de qualidade.

O sistema de classificação proposto, pode ser melhor aproveitado como uma forma de representação dos resultados das análises de qualidade da água, para subsidiar tomadas de decisões por parte dos gestores e agências reguladoras ambientais. É o caso do estabelecimento de metas de curto, médio ou longo prazo, bem como a comparação entre áreas e a geração de produtos cartográficos para facilitar a representação da classificação.

Conforme a Resolução CONAMA274/2000, a classificação de qualidade das águas para balneabilidade é dada a partir dos resultados de um conjunto de cinco amostras, coletadas durante cinco semanas ou com intervalo mínimo de 24 horas entre as amostras, devendo estar com pelo menos 80% dos resultados compatíveis com os níveis previstos para *E.coli* ou coliformes termotolerantes. A referida resolução ainda recomenda que as amostragens sejam realizadas nos dias de maior afluência do público ao balneário.

Conforme NZME (2003), as amostragens devem ser realizadas nos locais e períodos mais representativos para caracterizar a exposição do usuário aos fatores de risco, efetuando-se, inclusive, análises durante períodos chuvosos.

Em consulta a um painel de especialistas, Martins (2012) verificou que a maioria dos profissionais consultados concorda com o sistema adotado na legislação brasileira. Entretanto, foi recomendado pela maior parte dos especialistas, que o processo de avaliação da qualidade das águas nos balneários seja iniciado 4 semanas antes da alta temporada de visitação.

No entanto, os métodos comumente utilizados para análise microbiológica das águas não permitem resultados imediatos, por demandarem pelo menos 24 horas (WEISBERG, 2007), o que impossibilita a divulgação das condições de balneabilidade no momento da atividade recreacional.

Neste contexto, o sistema adotado pela Nova Zelândia prevê a utilização de uma série de pelo menos 100 amostras coletadas ao longo de 5 anos, incluindo eventos de chuvas intensas, de forma a considerar as variações sazonais na classi-

ficação dos balneários.

Desta forma, o monitoramento de longo prazo poderia caracterizar as condições naturais das águas de determinado balneário, bem como detectar a influência do número de banhistas e/ou eventos que possam afetar a qualidade das águas, como chuvas, extravasamento de redes de esgotos, florações de algas, dentre outros.

Esse monitoramento permite apontar os balneários críticos, que demandariam monitoramentos mais frequentes e ações específicas para permitir o seu uso pleno pela população. Todavia, no caso dos balneários cujos resultados demonstrem baixo risco aos usuários, o monitoramento poderia ser reduzido, sendo realizado de forma mais espaçada. Assim, são propostas para este trabalho, as classes e respectivas faixas de qualidade apresentadas na Tabela 7.

Neste sistema proposto, optou-se por manter a frequência do monitoramento vigente para águas doces no Brasil, com a incorporação da possibilidade de uma avaliação de longo prazo que permita estabelecer um padrão para os balneários e otimizar o monitoramento e os recursos humanos e financeiros. Todavia, cabe ressaltar as especificidades de visitação existentes entre os balneários, haja vista que, enquanto alguns balneários são mais visitados em períodos específicos do ano (alta temporada), outros são frequentados em praticamente todos os finais de semana, sendo recomendável, neste caso, o monitoramento semanal a critério do órgão ambiental competente.

Nos casos de balneários com estações de visitação bem definidas e com significativa demanda pela recreação de contato primário, o monitoramento poderia ser iniciado nas quatro semanas anteriores ao início da alta temporada (MARTINS, 2012). Este procedimento possibilitaria a classificação das condições de balneabilidade, bem como a divulgação dos resultados a partir da primeira semana, orientando o público frequentador. O monitoramento semanal seria mantido nas semanas subsequentes durante a referida temporada.

Entretanto, o programa de monitoramento das águas para fins de uso recreacional deve ser planejado de forma a contemplar os objetivos de fornecer informações ao público frequentador sobre as condições de balneabilidade em determinados períodos, bem como permitir a construção de uma série representativa de dados de forma a subsidiar o processo de gestão das águas recreacionais.

Dentre os principais desafios a serem enfrentados na adoção de uma avaliação sistemática de condições de balneabilidade, por meio de um monitoramento de longo termo em balneários, podem ser destacados: a seleção de balneários prioritários para o monitoramento, os custos das amostragens e das análises laboratoriais, a logística para sinalização dos balneários e a divulgação dos resultados ao público.

Neste contexto, considerando possivelmente a dificuldade de recursos e de pessoal por parte dos órgãos ambientais para a realização deste tipo de monitoramento, seria interessante a possibilidade de um sistema de gestão descentralizada que conte com a participação do poder público, de usuários e das comunidades, conforme fundamento previsto pela Lei 9.433/1997. A referida Lei prevê ainda, como instrumento de gestão de recursos hídricos, os Planos de Recursos Hídricos a

Tabela 7 - Classificação e respectivas faixas de qualidade do Índice de Condições de Balneabilidade – ICB

Classe	Faixa	Ações ¹
Excelente	$100 \geq \text{ICB} \geq 90$	Monitoramento mensal na estação mais visitada. (avaliação de longo termo ¹)
Muito boa	$90 > \text{ICB} \geq 70$	Monitoramento semanal regular (durante alta temporada ¹)
Satisfatória	$70 > \text{ICB} \geq 50$	Manter Monitoramento semanal (antes e durante a alta temporada ²) e inspeções sanitárias.
Imprópria	$50 > \text{ICB} \geq 25$	Suspensão do uso através de sinalização temporária. Amostragem diária (intervalo mínimo de 24h) e identificação da origem da contaminação.
Muito ruim	$25 > \text{ICB} \geq 0$	Interdição com sinalização permanente e divulgação dos resultados junto ao público, adoção de medidas corretivas antes da realização de novas amostragens.

Notas:

*No caso da avaliação de longo de termo, as classes Excelente, Muito boa, Satisfatória ou Muito ruim serão estabelecidas a partir do resultado de um conjunto mínimo 5 de amostras, com 80% dos valores dentro do limite. Caso os resultados não atendam ao referido percentual, atribui-se a classificação como Imprópria.

1- Ações baseadas a partir dos resultados de avaliação de longo termo: mínimo de 100 amostras coletadas durante o período de 5 anos.

2- Início do monitoramento em 4 semanas antes do início da alta temporada, seguido pelo acompanhamento semanal.

serem elaborados por bacias, estados e país, conforme a Política Nacional de Recursos Hídricos e a Política Nacional do Meio Ambiente.

Assim, os comitês de bacia hidrográfica e as respectivas agências de águas (instâncias executoras das decisões dos comitês), responsáveis pela concepção e elaboração dos planos de recursos hídricos à escala de bacias, possuem papel fundamental para o gerenciamento dos recursos hídricos utilizados para fins recreacionais no Brasil, identificando e estabelecendo a necessidade de monitoramento de áreas prioritárias.

Nos casos das áreas privadas, onde há exploração econômica das atividades de recreação de contato primário, uma alternativa para os órgãos ambientais, poderia ser a partir da exigência de licença ambiental de operação ou autorização ambiental de funcionamento, condicionando sua obtenção, ao monitoramento e divulgação de resultados, a critério do órgão ambiental.

Desta forma, cabe ao órgão ambiental responsável avaliar e definir os critérios para a implementação do monitoramento das condições de balneabilidade, conforme previsto pela Resolução CONAMA 274/2000, que também faz referência à necessidade de articulação entre municípios, estado e sociedade para a implementação das ações decorrentes da referida resolução.

Em relação à divulgação dos resultados, uma das principais premissas da utilização de índices consiste na praticidade de se apresentar informações complexas de forma inteligível ao público não técnico. No entanto, a adoção de muitas classes pode gerar dúvidas nos banhistas, os quais estão geralmente interessados apenas em saber sobre o risco do contato com a água, ou seja, se o uso é permitido ou não.

Deste modo, para a divulgação junto ao público frequentador, em termos gerais, através da sinalização nos próprios balneários, recomenda-se a utilização de um sistema mais simples, no intuito de se evitar dúvidas junto aos usuários. Uma alternativa é a adoção da classificação da água em PRÓPRIA ou IMPRÓPRIA, utilizando-se placas com as cores verde e vermelho, respectivamente, e informando, quando possível, a natureza da contaminação.

Tais categorias de divulgação já são utilizadas pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo - CETESB, em São Paulo, no monitoramento de águas recreacionais, sendo que a divulgação no *website* permite a visualização da classificação semanal dos balneários de água doce. A divulgação dos resultados impróprios, conta ainda com subcategorias para informar o parâmetro limitante, a saber: imprópria (presença de algas), imprópria (presença de *E.coli*) ou imprópria (presença de *E.coli* + algas) (CETESB, 2012c).

Braun et al. (1995) citam estudos com participantes que falam idiomas distintos, sobre a percepção de riscos associados a cores que apontam o vermelho como a cor mais associada ao alto risco e as cores azul, verde e branco como associadas aos mais baixos riscos. Tal padrão também foi verificado por Griffith e Leonard (1997), que apontam que o vermelho é fortemente relacionado ao aviso de pare, enquanto a cor preta está mais associada ao risco de morte ou substância venenosa. Os autores ainda citam a importância da sinalização por cores associada às palavras de advertência, no intuito de chamar ao máximo a atenção do público alvo.

No caso de balneários enquadrados nas classes Imprópria e Muito Ruim, deveriam ser instalados avisos próximos ao corpo hídrico avisando sobre a condição imprópria, sendo o acesso interditado, quando possível, pelo órgão ambiental competente. Neste contexto, a Resolução CONAMA 274/2000 estabelece, em seu artigo 3, parágrafo 2, que a interdição e a sinalização dos balneários classificados como impróprios é de responsabilidade do órgão ambiental competente, em quaisquer de suas instâncias (municipal, estadual ou federal).

Entretanto, a natureza da sinalização de um balneário deve ser adotada de forma criteriosa pela autoridade ambiental local, haja vista que a interdição pode gerar impactos econômicos significativos, especialmente em localidades que dependem dos recursos gerados pela atividade turística.

Desta forma, para subsidiar uma tomada de decisão que resulte na interdição de um balneário, é imprescindível a

realização de um monitoramento de longo termo, de forma a evitar a classificação errônea devido a amostragens inadequadas ou condições temporárias que contraindiquem a recreação de contato primário, além de possibilitar a adequação do monitoramento em função de especificidades locais.

Aplicação do Índice de condições de Balneabilidade-ICB

No intuito de exemplificar a aplicação do Índice de Condições de Balneabilidade-ICB, foi realizado um levantamento atualizado dos dados de qualidade da água existentes para a bacia do Alto Rio das Velhas, oriundos do monitoramento oficial para o estado de Minas Gerais (Programa Águas de Minas), do Instituto Mineiro de Gestão das Águas – IGAM.

Neste contexto, foram utilizados os dados das variáveis integrantes do Índice de Condições de Balneabilidade proposto, referentes às amostragens realizadas na calha do alto curso do Rio das Velhas, entre janeiro de 2009 e dezembro de 2011. A metodologia do mínimo operador, proposta para a formulação do índice apresentado, considera o valor obtido para o parâmetro com pior desempenho, evitando assim, a influência de um parâmetro sobre a outra. A Tabela 8 apresenta os resultados para a estação de coleta BV013- Rio das Velhas a montante da foz do Rio Itabirito, referente às amostragens de 08/12 de 2009.

Tabela 8 - Aplicação do ICB a partir da base de dados da Estação BV013 - Rio das Velhas

Parâmetro	Amostragem 07/07/2009		Amostragem 08/12/2009	
	Resultado	ICB	Resultado	ICB
Coliformes ¹ (UFC/100mL)	80	96	14.000	1 ²
Cianobactérias (nº de células)	0	100	44,8	97
pH	6,8	87	7,5	98
Turbidez (UNT)	6,71	63 ²	521	1 ²

Notas: O monitoramento oficial não apresenta dados de *E.coli*. Assim, foram consideradas as densidades de coliformes termotolerantes para o cálculo do índice. No entanto, conforme a Deliberação Normativa COPAM-CERH 01/2008, a *E.coli* pode ser adotada em substituição aos coliformes termotolerantes, respeitando-se os limites estabelecidos pelas classes de qualidade. Menor resultado dentre as variáveis avaliadas corresponde ao resultado final do índice.

Conforme os resultados verificados para a amostragem referente à estação chuvosa, as águas no trecho do curso d'água avaliado seriam enquadradas na classe de qualidade “Muito Ruim”, devido aos elevados níveis de coliformes termotolerantes e turbidez nas águas. Estes níveis estão possivelmente relacionados ao incremento do escoamento superficial durante o período chuvoso.

No exemplo apresentado, verifica-se uma das principais contribuições da metodologia apresentada para o aprimoramento do atual sistema de classificação no Brasil. Na amostragem referente ao período chuvoso (08/12/2009), a variável turbidez

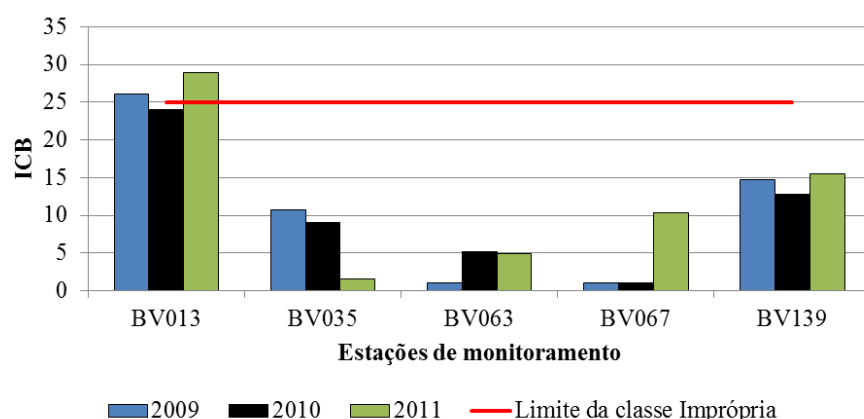


Figura 6 - Resultado médio anual do ICB para o alto Rio das Velhas- 2009 a 2011

também apresentou níveis não recomendáveis para a prática recreacional. Conforme Davies-Colley e Ballantine (2010), a visibilidade não está restrita somente à questão estética, mas à segurança do uso recreacional, devido à importância da visualização de profundidade e de objetos e outras ameaças submersas.

Deste modo, avaliação baseada apenas em critérios microbiológicos, conforme estabelecido pela Resolução CONAMA 274/2000, não abrange riscos de natureza física.

Cabe ressaltar que a aplicação do índice, neste caso, consiste em apenas uma forma ilustrativa da classificação de condições de balneabilidade a partir da metodologia proposta. Assim, a variação dos resultados dentre as classes propostas poderia ser útil para os gestores no intuito de se avaliar variações e tendências nos balneários, além de possibilitar comparações com resultados de outras áreas. Todavia, a forma de divulgação dos resultados junto ao público frequentador ainda seria mantida por meio da classificação das águas recreacionais como “Satisfatórias ou Próprias” ou “Impróprias”. Neste último caso, a divulgação do(s) parâmetro(s) limitante(s) contribuiria para um melhor entendimento sobre a origem da contaminação. Além disso, esta metodologia permite o cálculo do índice mesmo com a ausência ou perda de resultados para algum parâmetro (problemas na amostragem ou de análise), o que na formulação multiplicativa ou aditiva implicaria na inviabilidade da utilização do índice.

A partir dos resultados médios do Índice de Condições de Balneabilidade-ICB para a referida série de dados (36 amostragens), estabeleceu-se a classificação anual para o alto curso do rio das Velhas (Figura 6).

Conforme os resultados médios anuais do ICB, as águas do Alto Rio das Velhas apresentam-se condições de balneabilidade imprópria em todos os trechos avaliados entre 2009 e 2011. Nesta classificação, pode ser observado que os resultados, em sua maior parte, foram enquadrados na classe de qualidade “muito ruim”, sendo os melhores resultados do ICB, obtidos para estação mais a montante do trecho avaliado (BV013), que foi enquadrada como “imprópria” nos anos de 2009 e 2011.

Cabe ressaltar que, no mesmo período analisado, o referido trecho fluvial apresentou classificação anual “médio”, conforme o IQA-IGAM, o que demonstra a influência dos parâmetros com bom desempenho, sobre parâmetros que violaram os limites legais.

Embora os índices ICB e IQA possuam objetivos distintos, o primeiro apresenta-se mais restritivo, por ser elaborado especificamente para o uso recreacional, além de sua classificação ser baseada no pior resultado obtido, o que pode ser considerado como um fator de segurança maior, por não ser influenciado por outras variáveis que apresentem bons níveis de qualidade.

Em estudo comparativo entre índices de qualidade da água com distintas formulações, Ferreira e Ide (2001) consideram que a utilização do mínimo operador garante uma maior sensibilidade com relação à variável de qualidade da água.

Outra possibilidade de aplicação do índice está relacionada às avaliações de longo termo, conforme já adotadas pelo *Ministry for Environment* da Nova Zelândia (NZMFE, 2003) e pela União Europeia (EU, 2006), visando subsidiar tomadas de decisão a partir de um conjunto mínimo de amostras coletadas em determinado período.

Neste contexto, foi realizada, em caráter ilustrativo, uma simulação (Figura 7) considerando a classificação como própria para fins de contato primário o percentual mínimo de 80% dos resultados das amostragens, conforme proposto na metodologia apresentada anteriormente, para a série mensal de 2009 a 2011 do Alto Rio das Velhas.

Deste modo, para período de janeiro de 2009 a dezembro de 2011, o alto curso do Rio das Velhas foi classificado na categoria “Muito ruim” para o uso recreacional de contato primário das águas, na maior parte das amostragens realizadas. A densidade de coliformes termotolerantes e os níveis de turbidez foram as variáveis com maior número de ocorrências acima dos limites propostos para a balneabilidade.

Dentre as estações de monitoramento avaliadas, apenas a BV013, localizada no trecho mais a montante do Rio das Velhas, apresentou amostragens classificadas como “Excelente” e “Muito boa”, em coletas realizadas entre os meses de julho a setembro. Este quadro pode ser um indicativo da influência do escoamento superficial nos níveis de coliformes termotolerantes e de turbidez das águas e, consequentemente, nas condições de balneabilidade.

Considerando-se a classificação de qualidade prevista pelo ICB, através da adoção do percentual de 80%, conforme anteriormente descrito (Tabela 7), o trecho do alto Rio das Velhas representado pela estação BV013 estaria enquadrado

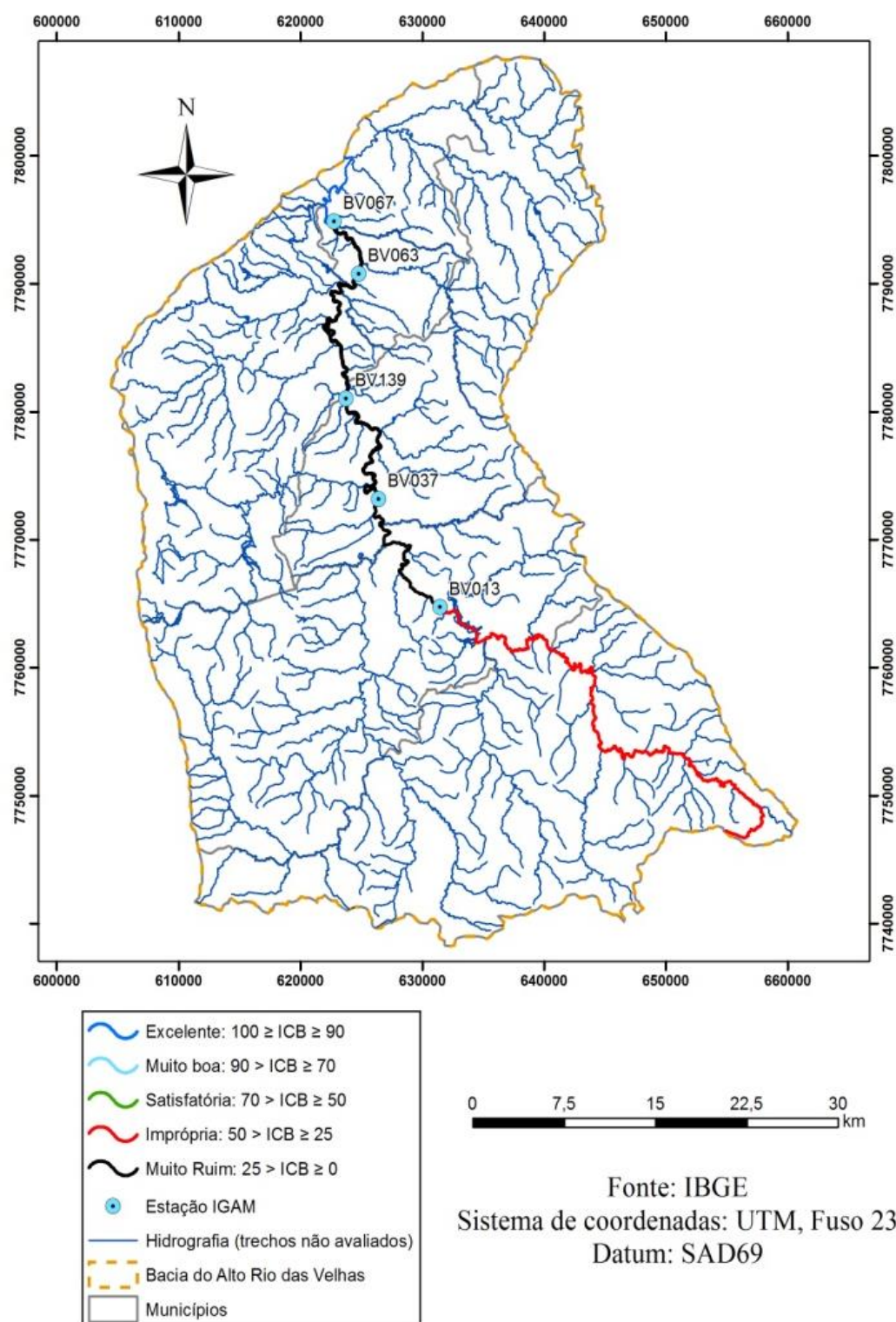


Figura 7 - Índice de condições de balneabilidade para o alto curso do Rio das Velhas entre 2009 e 2011

na categoria “Imprópria”, tendo em vista que o mesmo não atingiu o percentual mínimo de 80% para as classes de qualidade Excelente, Muito boa e Satisfatória. Do mesmo modo, este percentual não foi atingido para a classe “Muito ruim”, o que implicaria em uma recomendação de interdição imediata até a adoção de medidas corretivas.

CONCLUSÕES

O índice proposto possibilita integrar as variáveis que mais podem contribuir para uma avaliação integrada de condições de balneabilidade, de forma a considerar riscos de natureza biológica, como a contaminação fecal e a incidência de cianotoxinas, bem como aspectos estéticos e riscos físicos relacionados à claridade visual das águas.

Em relação aos índices tradicionais, a técnica do mínimo operador, utilizada para o ICB, evita a influência de um parâmetro sobre a outra, o que contribui para aumentar a segurança da avaliação da qualidade das águas para usos mais restritivos, tais como a balneabilidade.

As avaliações de longo termo para os balneários poderiam contribuir para a elaboração de planos de ação por parte dos órgãos ambientais, a partir da possibilidade de identificação das reais condições de balneabilidade e de suas principais fontes de pressão, haja vista a possibilidade de interferência de fatores ambientais.

Todavia, as avaliações de longo termo visam subsidiar o processo de gestão do uso recreacional das águas, sendo necessário que o monitoramento de condições de balneabilidade também atenda a demanda por informações sobre o diagnóstico de balneários, de forma a orientar o público frequentador.

Neste contexto, a metodologia de avaliação de condições de balneabilidade aqui proposta, apresenta avanços importantes em relação aos procedimentos estabelecidos pela Resolução CONAMA 274/2000, ao incorporar novos fatores/variáveis de risco aos usuários, bem como pelo sistema de classificação dos balneários através de monitoramento de longo termo. Deste modo, permite-se um diagnóstico mais eficaz das condições de balneabilidade, oferecendo maior segurança ao público frequentador. Assim, esta proposta metodológica consiste em um importante instrumento para o aprimoramento e atualização da resolução vigente no país.

Apesar da reconhecida importância das variáveis selecionadas para a formulação do ICB, ficou evidenciada a dificuldade em se estabelecer padrões para o uso recreacional das águas, principalmente devido à ausência de estudos que avaliem os riscos aos usuários em função da qualidade da água em balneários no Brasil.

A realização de novas pesquisas, utilizando dados referentes aos balneários brasileiros, bem como o desenvolvimento de novos trabalhos epidemiológicos, certamente contribuirão para o aperfeiçoamento da metodologia proposta, especialmente em relação ao estabelecimento de um padrão para claridade visual das águas, haja vista as especificidades de um ambiente tropical.

Deste modo, o estabelecimento de novos critérios para o uso recreacional de contato primário em águas doces

no Brasil, carece de uma profunda reflexão, com a participação da comunidade científica atuante nas áreas correlatas, bem como dos cientistas atuantes em órgãos de monitoramento e gerenciamento ambiental, além de outros atores envolvidos na gestão das águas no país.

AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal – CAPES pela concessão de bolsa de estudos através do Programa de Doutorado Sanduíche no Exterior – PDSE; e ao *National Institute of Water and Atmospheric Research* – NIWA, especialmente ao Dr. Robert J. Davies-Colley pela orientação.

REFERÊNCIAS

AUSTRALIA AND NEW ZEALAND ENVIRONMENT & CONSERVATION COUNCIL, AGRICULTURE AND RESOURCE MANAGEMENT COUNCIL - ANZECC/ARMCANZ. *Australian and New Zealand Guidelines for Fresh and Marine Water Quality*. National Water Quality Management Strategy. ANZECC/ARMCANZ, Canberra, 2000. 215p.

BRASIL. Lei 9.433 de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional dos Recursos Hídricos, cria o Sistema nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos.

BRAUN, C.C. et al. The influence of colour on warning label perceptions. *International Journal of Industrial Ergonomics*, v. 15, p.179-187, 1995.

BROWN, R.M. et al. A water quality index- do we dare? *Water & Sewage Works*, Chicago, v. 117, n 10, p 339-343, 1970.

CHORUS, I.; BARTRAM, J. *Toxic cyanobacteria in water: a guide to their public health consequences, monitoring e management*. London: WHO, 1999. 400p.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANAMENTO AMBIENTAL - CETESB. Índice de balneabilidade. Disponível em :<<http://www.cetesb.sp.gov.br>>. Acesso em: 23 mai. 2012b.

CONSELHO ESTADUAL DE POLÍTICA AMBIENTAL – COPAM E CONSELHO ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS-CERH. *Deliberação Normativa Conjunta 01 de 05 de maio de 2008*. Dispõe sobre a classificação e o enquadramento dos corpos d’água. Diário do Executivo - Minas Gerais- 20/05/2008. 28p.

CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE – CONAMA. *Resolução 274/2000*. Estabelece condições

- de balneabilidade das águas brasileiras. Brasília, 2000.
- CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução 357 de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação e o enquadramento dos corpos d'água. Brasília, 2005.
- DAVIES-COLLEY, R.J.; BALLANTINE, D. Suitability of New Zealand Rivers for contact recreation – a pilot application of a water quality index to the National Rivers Water Quality Network (NRQWN). *NIWA Technical Report 133*, 2010, p. 19.
- DAVIES-COLLEY, R.J.; SMITH, D.G. Turbidity, suspended sediment and water clarity - a review. *Journal of the American water resources association*, v. 37, n. 5, 2001, p.1085-1101.
- DAVIES-COLLEY, R.J.; VANT, W.N.; SMITH, D.G. *Colour and clarity of natural waters- Science and management of optical water quality*. Blackburn Press, 1993, p.310.
- DAVIES-COLLEY, R.J.; WILCOOK, B. Water quality and chemistry in running waters. In: HARDING, J.S et al. (Orgs). *Freshwaters of New Zealand*. New Zealand Hydrological Society Inc. and New Zealand Limnological Society Inc., New Zealand, 2004, 764p.
- DAVIES-COLLEY, R.J.; WILCOOK, B. Water quality and chemistry in running waters. In: HARDING, J.S et al.(Orgs). *Freshwaters of New Zealand*. New Zealand Hydrological Society Inc. and New Zealand Limnological Society Inc., New Zealand, 2004, 764p.
- DUFOUR, A. P. *Health effects criteria for fresh recreational waters*. U.S. Environmental Protection Agency. Cincinnati, OH. EPA 600/1-84-004. 1984.
- EUROPEAN UNION (EU). *DIRECTIVE 2006/7/EC* of 15 February 2006: concerning the management of bathing water quality and repealing Directive 76/160/EEC. *Official Journal of the European Union*, 2006, 15p.
- FERREIRA, L.M.; IDE, C.N. Avaliação comparativa da sensibilidade do IQA-NSF, IQASMITH e IQA-HORTON, aplicados ao rio Miranda, MS. *Anais.... Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*, XXI. ABES, 2001.
- FUNDAÇÃO NACIONAL DA SAÚDE-FUNASA. *Cianobactérias Tóxicas na Água para consumo Humano na saúde Pública e Processos de Remoção em Água para Consumo Humano*. Ministério da Saúde, 2003. p.56.
- GRIFFITH, L. J.; LEONARD, S.D. Association of colours with warning signal words. *International Journal of Industrial Ergonomics*, v. 20, p. 317-325, 1997.
- HEALTH CANADA-HC. *Guidelines for Canadian recreational water quality*. 2 ed. Ottawa, Ontario.1992, p. 100.
- LINSTONE, H.A.; TUROFF, M. *The Delphi method: techniques and applications*. Massachusetts: Adison-Wesley, 1975. 620p.
- MARTINS, L.K.A. *Contribuições para o monitoramento de balneabilidade em águas doces no Brasil*. 2012. 122f. (Dissertação Mestrado em Meio Ambiente, Saneamento e Recursos Hídricos) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais, 2012.
- MINISTÉRIO DA SAÚDE. *Portaria 2914 de 12 de dezembro de 2011*. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. DOU, 14/12/2011.
- NAGELS, J.W.; DAVIS-COLEY, R.; SMITH, D. G. A water quality index for contact recreation in New Zealand. *Water Sci. Tec.*, v.43, n.5, p 285-292, 2001.
- NEW ZELAND MINISTRY FOR THE ENVIRONMENT (NZME). *Microbiological Water Quality Guidelines for Marine and Freshwater Recreational Areas*. Wellington, New Zealand, 2003, 159p.
- PILOTTO, L.S. et al. Health effects of exposure to cyanobacteria (blue-green algae) during recreational water-related activities. *Aust. N.Z. J. Public Health*, v. 21, p.562-566, 1997.
- PROGRAMA NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - PNMA. *Sistema de cálculo da qualidade da água (SCQA). Estabelecimento das Equações do índice de Qualidade das Águas*. SEMAD/PNMAII, 2005, 19p.
- PRÜSS, A. Review of epidemiological studies on health effects from exposure to recreational water. *Journal of Epidemiology*, v.27, p.471-478, 1998.
- SMITH, D. G. A better water quality indexing system for rivers and streams. *Wat. Res.*, v. 24, p. 1237-1244, 1990.
- SMITH, D.G et al. Optical characteristics of New Zealand rivers in relation to flow. *Journal of the American Water Resources Association*, v. 33, p. 301-312, 1997.
- SMITH, D.G. A new form for water quality index for rivers and streams. *Wat. Sci Tech*, v. 21, n. 2. p. 123-127, 1989.
- STEEL, E. A.; NEUHAUSSER, S. Comparison of methods for measuring visual water clarity. *J. of the North American*

Benthological Society, v. 21, p. 326-335, 2002.

STEWART, I.; et al. Epidemiology of recreational exposure to freshwater cyanobacteria – an international prospective cohort study. *BMC Public Health*, v. 6, n. 93, p. 1-11, 2006.

VON SPERLING, M. *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos*. 3.ed. Belo Horizonte: UFMG/Departamento de Engenharia Sanitária, 2005. v.1, 452p.

VON SPERLING, E.; VON SPERLING, M. *Estudo sobre a balneabilidade no rio das Velhas*. Belo Horizonte: Fundação Cristiano Ottoni e COPASA, 2010.

WEISBERG, S.B. A management context for the statistical design of recreational contact water quality monitoring programs. In: WYMER, L.J (Ed). *Statistical framework for recreational water quality criteria and monitoring*. John Willey & Sons. UK, 2007, p. 13-17.

Methodology for Recreational Water Quality Assessment in Brazilian Freshwaters

ABSTRACT

Water has always been used for leisure activities in human culture, especially in countries with a favorable climate and a wealth of water resources, where there are appropriate conditions for the practice of recreational activities that involve primary contact with the water of rivers, waterfalls, dams and ponds. However, this use has specific water quality requirements, since primary contact requires a more restrictive assessment of water quality, due to the risks to human health due from direct and prolonged exposure to pathogenic organisms and toxic substances. In Brazil there is a lack of proper monitoring of bathing water conditions and, furthermore, the currently used methodology shows some limitations, such as the use of some microbiological indicators that do not set standards for other factors and/or elements which may interfere with the use of recreational waters for the purpose of primary contact. In this context, this study's general objective is the development of a methodology to assess water quality for bathing in freshwater, in order to improve the current methodology, establishing new variables for the analysis of bathing water conditions by using the Delphi methodology, composing an integrated index of water quality for bathing to cover the main elements raised. A water quality index was proposed, based on the minimum operator method, including the variables Escherichia coli, cyanobacteria density, turbidity and pH, that, according the final index results, classifies the water quality as Excellent, Very Good, Suitable, Unsuitable and Very Poor. Therefore, this study is intended to contribute to the management process of recreational water use, aiming at improving the evaluation and dissemination of information on bathing conditions in freshwaters to ensure better health conditions for frequent users.

Keywords: *Water quality index. Recreational water use. Management.*