

©Copyright, 2006. Todos os direitos são reservados. Será permitida a reprodução integral ou parcial dos artigos, ocasião em que deverá ser observada a obrigatoriedade de indicação da propriedade dos seus direitos autorais pela INTERFACEHS, com a citação completa da fonte. Em caso de dúvidas, consulte a secretaria: [interfacehs@interfacehs.com.br](mailto:interfacehs@interfacehs.com.br)

## **AVALIAÇÃO DE RISCO MICROBIOLÓGICO: ETAPAS E SUA APLICAÇÃO NA ANÁLISE DA QUALIDADE DA ÁGUA**

Maria Tereza Pepe Razzolini<sup>1</sup>; Adelaide Cássia Nardocci<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Professoras Doutoradas do Departamento de Saúde Ambiental da Faculdade de Saúde Pública/USP.

### **RESUMO**

Este trabalho apresenta as etapas da avaliação de risco microbiológico e sua aplicação na avaliação da qualidade da água de abastecimento e recreacional. As etapas são: identificação do perigo, avaliação da exposição, avaliação da relação dose-resposta e caracterização do risco. A avaliação de risco é uma ferramenta de auxílio à decisão que possibilita orientar as medidas de controle e intervenção, bem como avaliar os impactos das ações realizadas, a partir da estimativa de efeitos adversos à saúde associados aos microrganismos patogênicos presentes em amostras de água tratada e recreacional. Ela dá suporte à tomada de decisão com base em resultados científicos, em vários níveis de atuação e nas decisões. No Brasil, esta é uma área de pesquisa recente, mas promissora para o gerenciamento da qualidade dos recursos hídricos de abastecimento público e recreacionais, especialmente nas áreas periurbanas das regiões metropolitanas, as quais apresentam vulnerabilidade sócio-ambiental.

**Palavras-chave:** avaliação de risco microbiológico; qualidade da água; gerenciamento de riscos.

## INTRODUÇÃO

O avanço científico e tecnológico trouxe grandes benefícios à sociedade contemporânea, como o aumento da expectativa de vida das pessoas e a cura de algumas doenças. Entretanto, o acentuado consumo de recursos naturais em decorrência do intenso ritmo de produção resultou em uma crise ambiental propalada pela forte destruição dos ecossistemas, assim como pelo agravamento da pobreza, da fome e das disparidades existentes na distribuição de renda tanto internamente quanto entre os países (ONU, *Agenda 21*, 1995).

Segundo Nardocci (1999), os potenciais impactos do desenvolvimento tecnológico e das mudanças no estilo de vida, bem como o aumento da sensibilidade aos perigos à saúde e à segurança, têm colocado os riscos e a qualidade ambiental entre as maiores preocupações da sociedade atual. Desta forma, a avaliação e o gerenciamento de riscos figuram entre as mais importantes atividades atuais de cientistas, políticos, órgãos reguladores e também do público em geral.

A avaliação de risco pode ser definida como o processo de se estimar a probabilidade de um evento ocorrer e sua magnitude, levando-se ainda em conta os efeitos adversos à economia, à saúde e à segurança, entre outros aspectos, em determinado período (GERBA, 2000). É possível, por exemplo, calcular (ou estimar) o risco à saúde associado à presença de pesticida nos alimentos, passíveis ainda de contaminação por microrganismos patogênicos, os quais, por sua vez, também podem encontrar-se na água para consumo humano.

A avaliação de risco emergiu entre as décadas de 1940 e 1950 com a crescente adoção de atividades nucleares. Essas avaliações eram utilizadas em plantas industriais de refinamento de petróleo, usinas nucleares e locais de pesquisas aeroespaciais.

Na área ambiental, essa ferramenta começa a ser reconhecida e utilizada com a publicação do *Guia de Avaliação de Riscos a Carcinogênicos (Guidelines for Carcinogenic Risk Assessment)* pela U. S. Environmental Protection Agency – Usepa, em 1976 (GERBA, 2000). Estimativas referentes à incidência de câncer associada à emissão industrial de determinada substância química podem ser realizadas no intuito de proteger a saúde de trabalhadores e comunidades próximas.

Questões de saúde pública relacionadas com a presença de microrganismos em águas de abastecimento público e recreacionais não são recentes, mas a avaliação de risco microbiológico sim, pois se trata de uma nova abordagem no gerenciamento dos riscos de doenças de transmissão hídrica.

Este trabalho propõe-se a apresentar as etapas da avaliação de risco microbiológico e da sua aplicação na avaliação da qualidade da água de abastecimento e recreacional.

## AVALIAÇÃO DE RISCO MICROBIOLÓGICO

A avaliação de risco é uma área do conhecimento relativamente recente e ainda não devidamente consolidada, tanto na fundamentação de conceitos como na terminologia aplicada. As discussões e reflexões no campo acadêmico ainda estão em fase inicial no Brasil, onde as dificuldades são ampliadas pela falta de precisão na tradução dos termos da literatura internacional. Um exemplo desta problemática refere-se às confusões entre os termos *risk* e *hazard* ou *risco* e *perigo*. Esses termos podem ser usados como sinônimos no discurso comum, entretanto, no campo científico são conceitos distintos. *Hazard* ou *perigo* é uma propriedade, uma característica qualitativa, enquanto *risk* ou *risco* é uma grandeza quantitativa, adimensional e probabilística.

Também os termos *risk analysis* e *risk assessment* têm sido usados ora como sinônimos ora como etapas distintas. Entretanto, a distinção dessas etapas não é fundamental para a compreensão dos problemas e podemos dizer, sem prejuízo, que o estudo atual sobre riscos compreende as etapas de avaliação, gerenciamento e comunicação de riscos, embora também não haja consenso sobre o conteúdo de cada etapa, suas interfaces e correlações.

A primeira consolidação do conhecimento científico sobre a avaliação de risco foi desenvolvida pela National Academy of Sciences (NAS, 1983), dos Estados Unidos, a qual a estruturou em quatro etapas principais: identificação do perigo, avaliação da exposição, avaliação da relação da dose-resposta e caracterização do risco, como apresentado na Figura 1.

No caso da avaliação de risco microbiológico a identificação do perigo refere-se à presença de microrganismos e ou suas toxinas associados a um agravo ou doença específicos. Portanto, a pergunta correspondente é: “Existe o perigo?”. E para respondê-la é necessária a busca de informações a respeito de patógenos, de fato ou potenciais, através de estudos clínicos e epidemiológicos, da caracterização microbiana e de estudos da ecologia das doenças. Tais informações são de relevância nessa etapa do estudo para avaliar se determinado agente etiológico, aqui denominado de *perigo*, produz alguma ameaça à saúde (GERBA, 2000; PEÑA et al., 2001; WHO, 2004). Segundo Haas et al. (1999) a identificação de um agente microbiano (perigo) pode seguir as seguintes etapas:

- a) identificação do agente etiológico de determinada doença obedecendo aos postulados de Koch;
- b) diagnóstico que identifique a sintomatologia, a infecção e a presença do microrganismo em amostras clínicas do hospedeiro (sangue, pus, fezes);
- c) entendimento do processo desencadeante da doença desde a exposição à infecção (colonização no organismo humano) até o desenvolvimento dos sintomas, doença e morte;
- d) identificação das possíveis vias de transmissão;
- e) análise dos fatores de virulência do microrganismo e do ciclo de vida;
- f) avaliação da incidência e prevalência da doença na população (risco endêmico) e investigação de surtos (risco epidêmico);
- g) desenvolvimento de modelos (usualmente, modelos utilizando animais);
- h) avaliação do papel do sistema imunológico do hospedeiro no combate à infecção e possível desenvolvimento de vacinas para prevenção; e
- i) correlação de estudos epidemiológicos com as possíveis vias de exposição.

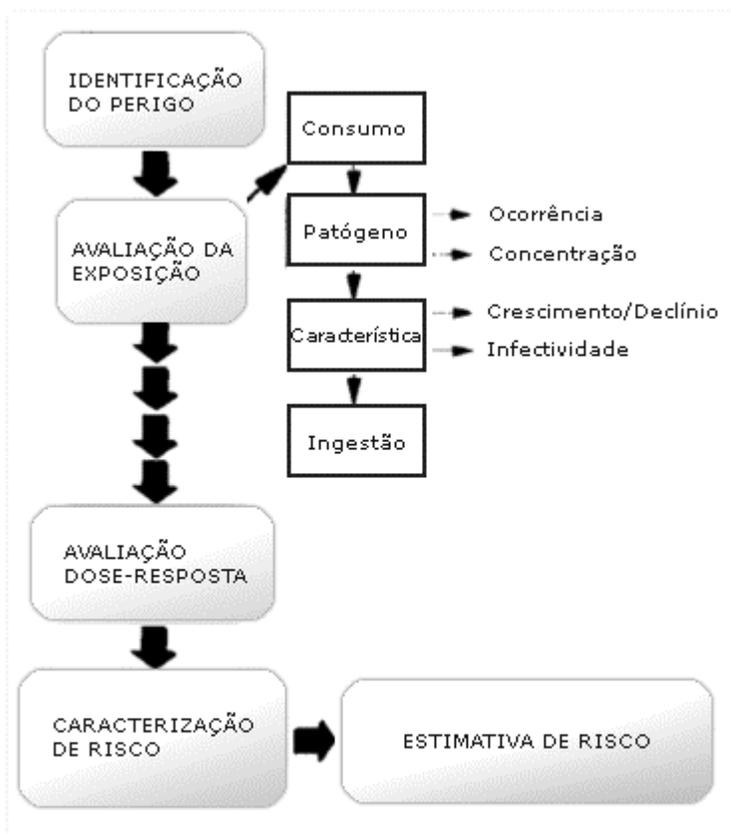


Figura 1: Exemplo de estrutura para avaliação de risco microbiológico (adaptado de MARKS et al., 1998).

A etapa de avaliação da exposição refere-se ao processo de medida ou estimativa da intensidade, freqüência e duração da exposição humana a um determinado agente, com o propósito de se determinar a quantidade de organismos que correspondem a uma única exposição, ou a quantidade total de organismos que compreende um conjunto de exposições (HAAS et al., 1999; GERBA, 2000). A exposição a contaminantes pode ocorrer por inalação, ingestão, ou pelas vias dérmica e cutânea, por exemplo. As fontes de contaminação assim como o mecanismo de transporte e transformação e, ainda, as rotas de exposição de um microrganismo desde a fonte até o contato com a população exposta, incluindo-se a via de ingresso no hospedeiro, são importantes fatores a se considerar nessa etapa de avaliação. As concentrações de exposição são obtidas a partir de medidas laboratoriais e ou estimadas por modelagens matemáticas. Portanto, a quantificação da dose de entrada no organismo pode envolver equações com três

conjuntos de variáveis: concentração do microrganismo, taxas de exposição (intensidade, freqüência, duração) e características do hospedeiro (peso, imunidade).

A relação dose–resposta resulta de estudos experimentais, os quais devem evidenciar a concentração do agente etiológico que produz efeito adverso à saúde da população exposta. Ou seja, a relação dose–resposta visa obter uma relação matemática entre a quantidade (concentração) de um microrganismo ao qual uma pessoa ou população está exposta e o risco de se produzirem efeitos adversos a partir dessa concentração. Marks et al. (1998) ressaltam que o número de organismos ingeridos pode afetar a probabilidade e a severidade do agravo. As doenças resultam de um processo complexo de interações entre o hospedeiro, o patógeno e o ambiente, o qual, em alguns casos, não é totalmente entendido.

Muitas pesquisas com indivíduos voluntários têm sido feitas com o objetivo de identificar a dose de referência para a infectividade. No caso de vírus os estudos são feitos com vírus atenuados de vacinas ou com crescimento em laboratórios. Entre as várias conseqüências de uma infecção, destacam-se:

- **a possibilidade de doenças subclínicas** (assintomáticas), aquelas que resultam em sintomas não óbvios como febre, dor de cabeça ou diarreia. Isto é, indivíduos podem hospedar o agente patogênico e transmiti-lo a outros, sem que fiquem doentes. A razão de infecções clínicas e subclínicas varia de agente para agente, especialmente em vírus. Em alguns casos, a probabilidade de desenvolvimento de doença clínica não apresenta relação com a dose recebida por um indivíduo via ingestão.
- **o desenvolvimento de doenças clínicas;** neste caso interferem vários fatores, como a idade, por exemplo. No caso da hepatite A, os sintomas clínicos podem variar de 5% em crianças menores que 5 anos até 75% em adultos. Porém, crianças desenvolvem mais freqüentemente as gastroenterites retrovirais.

Desta forma, os modelos dose–resposta abordam não apenas a probabilidade de infecção, a probabilidade de que a infecção resulte em doença e a probabilidade de que a doença resulte em morte. Importante ressaltar que nem sempre estão disponíveis as informações a respeito da relação dose–resposta de microrganismos patogênicos e dos

efeitos produzidos em hospedeiros. Nesse sentido, a utilização de funções matemáticas para estimar essa relação e a escolha do modelo deve ser sempre muito criteriosa.

A caracterização de risco representa a integração das etapas anteriores – identificação do risco, avaliação da exposição e avaliação da dose–resposta, para a determinação da estimativa do risco. Assim, essa fase estabelece a estimativa, quantitativa ou qualitativa, da probabilidade e severidade de efeitos adversos que podem acometer determinada população (WHO, 2004). Ressalta-se, entretanto, que essas estimativas devem ser acompanhadas pela magnitude da incerteza do risco estimado. As fontes de incerteza devem ser incluídas: extrapolação de doses altas para doses baixas, extrapolação da resposta em animais para seres humanos, extrapolação de uma via de transmissão para outra, limitação dos métodos analíticos e exposição estimada, por exemplo.

A avaliação das incertezas é um aspecto muito importante no processo de avaliação de riscos. Há casos em que algumas fontes de incertezas podem ser quantificadas em outros casos se for possível atribuir um tratamento qualitativo, mas sempre devem ser consideradas e avaliadas. Segundo Gerba (2000) duas estratégias podem ser usadas para a caracterização da incerteza: análises de sensibilidade e simulação de Monte Carlo. A análise de sensibilidade consiste em analisar a incerteza de cada parâmetro utilizado na condução do estudo e avaliar o impacto de cada um deles no resultado final. Na simulação de Monte Carlo, entretanto, assume-se que todos os parâmetros são aleatórios e, em vez de variar cada um desses parâmetros separadamente, recorre-se a um *software* o qual seleciona os dados aleatoriamente distribuídos e utiliza as funções matemáticas a cada tempo repetidas vezes. O resultado obtido corresponde, então, aos valores de exposição ou risco correspondente a uma probabilidade específica com grau de confiança de 95%.

O gerenciamento de risco apresenta uma abordagem endereçada a controlar os riscos considerando custo–benefício de implantações na melhoria de sistemas de tratamento de águas captadas para consumo, por exemplo, e que além disso subsidiem políticas de limites de exposição. Segundo Gerba (2000), a Usepa, nos Estados Unidos, utiliza o conceito de risco aceitável e sugere que o risco de infecções anuais de 1/10.000 é um nível apropriado para se garantir a segurança para a água de abastecimento de consumo humano. Para atingir esse nível as estações de tratamento de água para

consumo humano devem apresentar eficiência na remoção de *Giardia* e vírus entéricos da ordem de 99,99%. Dessa forma, o custo de tratamento da água seria factível, acarretando a redução de custos associados aos serviços de saúde e produtividade.

A comunicação de risco também é uma importante ferramenta do gerenciamento, a qual visa garantir a troca de informações entre as partes interessadas – gestores governamentais, técnicos e atores sociais, entre outros.

O Quadro 1 sumariza os paradigmas da avaliação de risco para os efeitos à saúde humana.

<b>Etapa</b>	<b>Objetivo</b>
<b>Identificação do perigo</b>	Descrição dos efeitos, agudos e crônicos, à saúde associados a um microrganismo específico, incluindo desde as vias de transmissão até o hospedeiro.
<b>Avaliação da dose-resposta</b>	Caracterização da relação entre as várias doses administradas e a incidência dos efeitos à saúde.
<b>Avaliação da exposição</b>	Determinação do tamanho e natureza da população exposta, e de rotas, concentração e duração da exposição.
<b>Caracterização do risco</b>	Integração das informações obtidas nas etapas anteriores para estimar-se a magnitude de problemas de saúde pública e para avaliar-se a variabilidade e incertezas.

**Quadro 1:** Paradigmas da avaliação de risco para os efeitos à saúde humana.  
Fonte: Adaptado de Haas et al., 1999.

## **APLICAÇÃO DA AVALIAÇÃO DE RISCO MICROBIOLÓGICO**

A verificação da qualidade sanitária da água de consumo humano mediante análises laboratoriais para obter informações como a concentração de determinado microrganismo patogênico ou, então, para constatar sua presença ou ausência nas amostras não é suficiente para proteger a saúde da população. No Brasil, a qualidade sanitária das águas de consumo e recreacionais é estabelecida pela Portaria nº 518 do Ministério da Saúde, de 25 de março de 2004, e pela Resolução Conama (Conselho Nacional do Meio Ambiente) nº 274, de 29 de novembro de 2000, respectivamente. Os

indicadores bacteriológicos clássicos da qualidade da água de consumo, coliformes termotolerantes e *Escherichia coli* não são efetivos para avaliar a ocorrência e a eficiência de remoção de protozoários patogênicos e vírus em estações de tratamento de água (ROSE & GERBA, 1991; GALE, 2001).

Microrganismos patogênicos podem alcançar locais de suprimento de águas de consumo humano e recreacionais em razão da contaminação por excretas como resultado de conexões cruzadas e problemas de manutenção. A emergência e a reemergência de patógenos traz à tona algumas questões relativas à qualidade sanitária das águas: “A verificação do atendimento aos padrões bacteriológicos estabelecidos por lei é suficiente para garantir a qualidade de águas de consumo e recreacionais?”, “O atendimento a esses padrões realmente promove e protege a saúde dos usuários?”.

São vários os relatos da ocorrência de patógenos (re)emergentes em águas (HAAS et al., 1999, p.18; RUSIN et al., 2000, p.447; WHO, 2003; WHO, 2004). Vale citar como exemplo o caso clássico de Milwaukee, em Wisconsin (EUA), onde ocorreu a contaminação do sistema de abastecimento público de água pelo protozoário *Cryptosporidium*, afetando a saúde de 403 mil pessoas, entre as quais 4.400 foram hospitalizadas e 69 morreram. A provável causa foi a contaminação da água tratada por excretas humanas e animais (bovinos ou eqüinos). (SOLO-GABRIELE & NEUMEISTER, 1996).

O monitoramento da ocorrência de patógenos para avaliar a qualidade sanitária de águas de consumo e recreacionais revela-se inviável, tanto no aspecto técnico como no econômico, em razão da grande diversidade de patógenos, do alto custo e da complexidade das análises laboratoriais, e do risco à saúde dos técnicos, em virtude da constante manipulação desses microrganismos. Assim, a avaliação de risco microbiológico consiste em uma ferramenta que pode ser utilizada para estimar os possíveis efeitos adversos à saúde quando da presença de organismos patogênicos em amostras de águas, para orientar as medidas de controle e intervenção, bem como para avaliar os impactos das ações realizadas.

A Organização Mundial da Saúde, em seu *Guia de qualidade para águas de consumo (Guidelines for drinking-water quality – WHO, 2004)* considera a avaliação de risco microbiológico uma forma de se estimarem os riscos à saúde humana associados à qualidade da água de consumo. Muitos são os relatos da aplicação de modelos de

avaliação de risco microbiológico para diversos tipos e usos da água (ROSE & GERBA, 1991; GERBA et al., 1996, CRABTREE et al., 1997; STINE et al., 2005; SCHIJVEN et al., 2005; BROOKS et al., 2005).

## **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Tendo em vista o exposto, a avaliação de risco microbiológico é uma ferramenta de auxílio à decisão e pode ser usada para:

- estimar efeitos adversos à saúde associados a microrganismos patogênicos presentes em amostras de água tratada e recreacional;
- tomar decisões em vários níveis de atuação;
- dar suporte nas decisões baseadas em resultados científicos.

Vale ressaltar que o processo de avaliação de risco deve ser transparente em todas as etapas de condução dos estudos e bem documentado, ressaltando-se a oportunidade de reavaliação futura.

No Brasil, esta é uma área de pesquisa recente, mas promissora dos pontos de vista científico e de gerenciamento da qualidade dos recursos hídricos de abastecimento público e recreacionais. Sua atuação é fundamental, especialmente nas áreas periurbanas das regiões metropolitanas, as quais apresentam vulnerabilidade socioambiental evidente e demandam uma priorização das ações de intervenção para preservação dos mananciais, para a proteção da saúde humana e a otimização dos recursos públicos a serem investidos.

## REFERÊNCIAS

BRASIL. Ministério da Saúde. *Portaria 518*, de 25 mar. 2004; Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências. Disponível em [www.funasa.gov.br/amb/pdfs/portaria518pdf](http://www.funasa.gov.br/amb/pdfs/portaria518pdf).

BROOKS, J. P. et al. Estimation of bioaerosol risk of infection to residents adjacent to a land applied biosolids site using an empirically derived transport model. *J. Appl. Microbiol.*, v.98, p.397-405, 2005.

CONAMA. Conselho Nacional de Meio Ambiente (Brasil). Resolução nº 274, de 29 nov. 2000. Dispõe sobre a qualidade das águas de balneabilidade. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil*, Brasília, 8 jan. 2001.

CRABTREE, K. D. et al. Waterborne adenovirus: a risk assessment. *Wat. Sci. Tech.*, v.35, n.11-12, p.1-6, 1997.

GALE, P. A review – Development in microbiological risk assessment for drinking water. *J Appl of Microbiology*, v.91, p.191-205, 2001.

GERBA, C. P. et al. Waterborne rotavirus: a risk assessment. *Wat. Res.*, v.30, n.12, p.2929-40, 1996.

GERBA, C. P. Risk Assessment. In: MAIER, R. M.; PEPPER, I. L.; GERBA, C. P. (Ed.) *Environmental Microbiology*. San Diego: Academic Press, 2000. p.557-70.

HAAS, C. N.; ROSE, J. B.; GERBA, C. P. *Quantitative Microbial Risk Assessment*. 1.ed. New York: John Wiley & Sons, 1999.

MARKS, M. M. et al. Topics in microbial risk assessment: dynamic flow tree process. *Risk Analysis*, v.18, n.3, p.309-28, 1998.

NARDOCCI, A. C. *Risco como instrumento de gestão ambiental*. 1999. 135p. Tese (Doutorado em Saúde Pública) – Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo. São Paulo.

ONU – ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento. *Agenda 21*. São Paulo: Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, 1995.

PEÑA, C. E.; CARTER, D. E.; AYALA-FIERRO, F. *Evaluación de riesgos y restauración ambiental*. 2001. Disponível em: [superfund.pharmacy.arizona.edu/toxamb/](http://superfund.pharmacy.arizona.edu/toxamb/). Acesso em: 15 abr. 2003.

ROSE, J. B.; GERBA, C. P. Use of risk assessment for development of microbial standards. *Wat. Sci. Tech.*, v.24, n.2, p.29-34, 1991.

RUSIN, P. et al. Environmentally transmitted pathogens. In: MAIER, R. M.; PEPPER, I. L.; GERBA, C. P. (Ed.) *Environmental Microbiology*. San Diego: Academic Press, 2000. p.447-85.

SCHIJVEN, J.; RIJS, G. B.; HUSMAN, A. M. R. Quantitative risk assessment of FMD virus transmission via water. *Risk Analysis*, v.25, n.1, p.13-21, 2005.

SOLO-GABRIELE, H.; NEUMEISTER, S. US outbreaks of cryptosporidiosis. *J AWWA*, v.88, p.76-86, 1996.

STINE, S. W. et al. Application of microbial risk assessment to the development of standards for enteric pathogens in water used to irrigate fresh produce. *Journal of Food Protection*, v.68, n.5, p.913-8, 2005.

WHO – WORLD HEALTH ORGANIZATION. *Emerging issues in water and infectious disease*. 2003. Disponível em: [www.who.int/water\\_sanitation\\_health/emerging/en/](http://www.who.int/water_sanitation_health/emerging/en/). Acesso em: 20 ago. 2005.

WHO – WORLD HEALTH ORGANIZATION. *Guidelines for drinking-water quality*. 2004. Disponível em: [www.who.int/water\\_sanitation\\_health/dwq/en/](http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/en/). Acesso em: 15 set. 2004.

Artigo recebido em 03.08.2006. Aprovado em 29.09.2006.