

IV-106 - DESAFIOS PARA A BALNEABILIDADE EM CURSOS D'ÁGUA, SOB O PONTO DE VISTA DE COLIFORMES. ESTUDO NO RIO DAS VELHAS-MG

Marcos von Sperling ⁽¹⁾

Engenheiro civil. Doutor pelo Imperial College – Londres. Professor titular do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Minas Gerais.

Eduardo von Sperling

Engenheiro civil. Doutor pela Universidade Técnica de Berlim. Professor titular do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Minas Gerais.

Ronaldo Matias de Souza

Coordenadoria de Projetos Estratégicos. Gestão de Resíduos Sólidos. Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA).

Endereço ⁽¹⁾: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG; Av. Antônio Carlos, 6627 – Escola de Engenharia - Bloco 1, 4º andar, sala 4622 – CEP 31270-901 - Belo Horizonte – MG - Tel: (31) 3409-1935; Fax: (31)3409-1879; e-mails: (marcos@desa.ufmg.br; eduardo@desa.ufmg.br; ronaldo.matias@copasa.com.br)

RESUMO

O trabalho apresenta um estudo de caso sobre as perspectivas de balneabilidade no Rio das Velhas, mais importante afluente do Rio São Francisco e que cruza a Região Metropolitana de Belo Horizonte (MG), recebendo diversos lançamentos pontuais e difusos. Os estudos foram efetuados com base em simulação matemática dos coliformes termotolerantes ao longo de 227 km do rio, usando o modelo QUAL-UFMG. As simulações dos cenários de intervenção foram feitas para as condições atuais, com três vazões de referência para o Rio das Velhas, tributários e contribuição direta: $Q_{7,10}$ (representativa de condições de seca), Q_{50} (condições médias) e Q_{10} (período chuvoso). Os cenários de intervenção simulados foram: (a) condições atuais, sem intervenção; (b) cenário com desinfecção nas ETEs Arrudas e Onça (principais ETEs do estado); (c) cenário com coleta e tratamento de 95% dos esgotos e implantação de desinfecção em todos os municípios da área de estudo; (d) cenário com cálculo dos valores requeridos para os percentuais de tratamento de esgotos e as eficiências de remoção de coliformes com base em processo de otimização matemática. Os dados de monitoramento e os resultados de todas as simulações indicaram melhoria da qualidade à medida que o rio flui para jusante. No entanto, constatou-se que a simples desinfecção dos esgotos nas principais ETEs da bacia (Arrudas e Onça) não é suficiente para se ter condições de balneabilidade no Rio das Velhas. As simulações indicaram ainda que, mesmo em condições hipotéticas de excelente infraestrutura sanitária (coleta e tratamento de 95% dos esgotos gerados, e tratamento com desinfecção em todas as ETEs), as concentrações de coliformes termotolerantes no Rio das Velhas deverão estar acima do máximo permitido de 1000 NMP/100mL. A definição dos percentuais de coleta e tratamento de esgotos e da eficiência de remoção de coliformes nas ETEs por meio de otimização matemática indicou a necessidade de elevadíssimas porcentagens de tratamento de esgotos (próximas a 100%, ou seja, universalização do tratamento) e da implementação de desinfecção na maioria das ETEs da bacia. Um importante ponto, generalizável para outros cursos d'água brasileiros, é que, tanto o elevado percentual de coleta e tratamento dos esgotos, quanto a necessidade de desinfecção nas ETEs, têm papéis igualmente importantes. A constatação de um elevado grau de dificuldade no cumprimento da meta de balneabilidade em um curso d'água que cruza regiões altamente urbanizadas não deve servir de desestímulo à contínua expansão da infraestrutura sanitária nas bacias hidrográficas. Os benefícios resultantes, em termos ambientais e de saúde pública, são inúmeros e, mesmo que fora do escopo de análise do presente trabalho, são facilmente reconhecíveis pela população e retratados por vários indicadores ambientais.

PALAVRAS-CHAVE: Balneabilidade, coliformes, legislação ambiental, modelo Qual-UFMG; simulação matemática.

INTRODUÇÃO

O uso de corpos d'água para recreação de contato primário ou balneabilidade é dos mais desejados pela população, mas um dos que traz maiores desafios para sua efetiva implementação. São vários os critérios que devem ser seguidos para se ter condições seguras de balneabilidade, envolvendo riscos associados a aspectos físicos, químicos e microbiológicos (WHO, 2003). No presente trabalho, faz-se a avaliação sob a importante ótica dos coliformes, explicitada na legislação brasileira sobre balneabilidade (Resolução CONAMA 274/2000), bem como na Resolução CONAMA 357/2005.

O trabalho apresenta um estudo de caso no Rio das Velhas, mais importante afluente do Rio São Francisco, no estado de Minas Gerais, e que cruza a Região Metropolitana de Belo Horizonte, recebendo diversos lançamentos pontuais e difusos. O estudo, baseado em modelagem matemática, traz importantes elementos que devem ser levados em consideração em outros cursos d'água onde se almeje a balneabilidade.

Os objetivos principais do presente trabalho, generalizáveis para outros cursos d'água, são: (a) mostrar as dificuldades em se alcançar o padrão de 1000 coliformes termotolerantes por 100mL expresso na Resolução CONAMA 274/2000; (b) mostrar possíveis caminhos para o atendimento à legislação; (c) discutir a importância relativa de se ter simultaneamente elevadíssimos percentuais de coleta/tratamento dos esgotos e de remoção de coliformes no tratamento de esgotos.

MÉTODOS

O presente estudo analisou as perspectivas de se ter condições de balneabilidade no Rio das Velhas, no trecho compreendido entre as confluências com o Rib. Itabirito e o Rib. Jequitibá, na Região Metropolitana de Belo Horizonte, com uma extensão aproximada de 227 km, envolvendo o lançamento de esgotos de 25 localidades de pequeno a grande porte (Figuras 1 e 2).

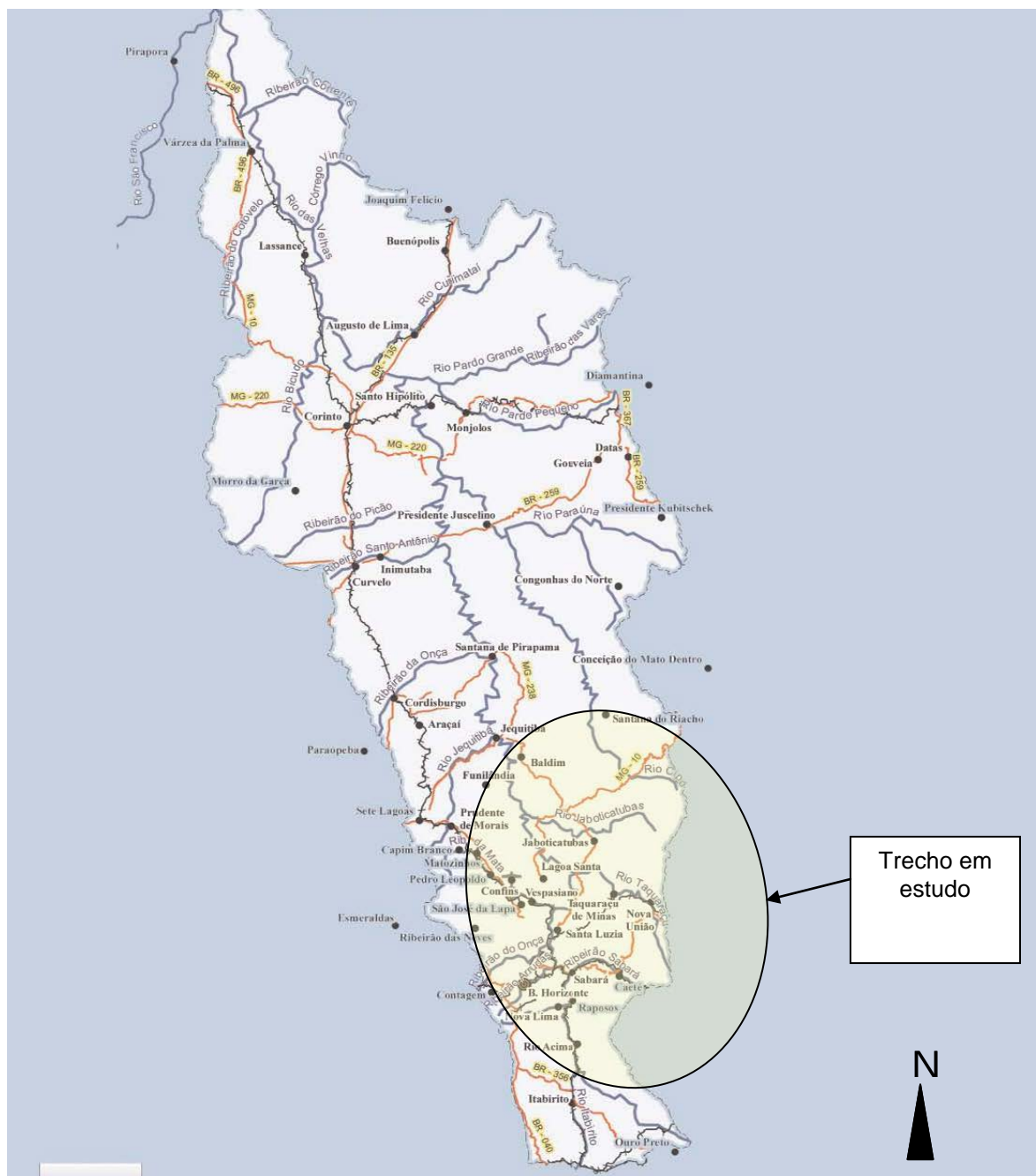


Fig. 1. Visão geral da bacia hidrográfica do Rio das Velhas, com destaque para o trecho em estudo
Fonte do mapa: COPASA (2009)

RIO DAS VELHAS - DIAGRAMA UNIFILAR

Esquema das sedes municipais e dos principais cursos d'água (sem escala)

As distâncias são aproximadas

← = Decaimento ao longo do curso d'água simulado
← - - - = Decaimento ao longo do curso d'água não simulado

[Amarelo] = concessão de esgotos da COPASA
[Laranja] = concessão de esgotos da Prefeitura
1 = junção (lançamentos ou tributários)

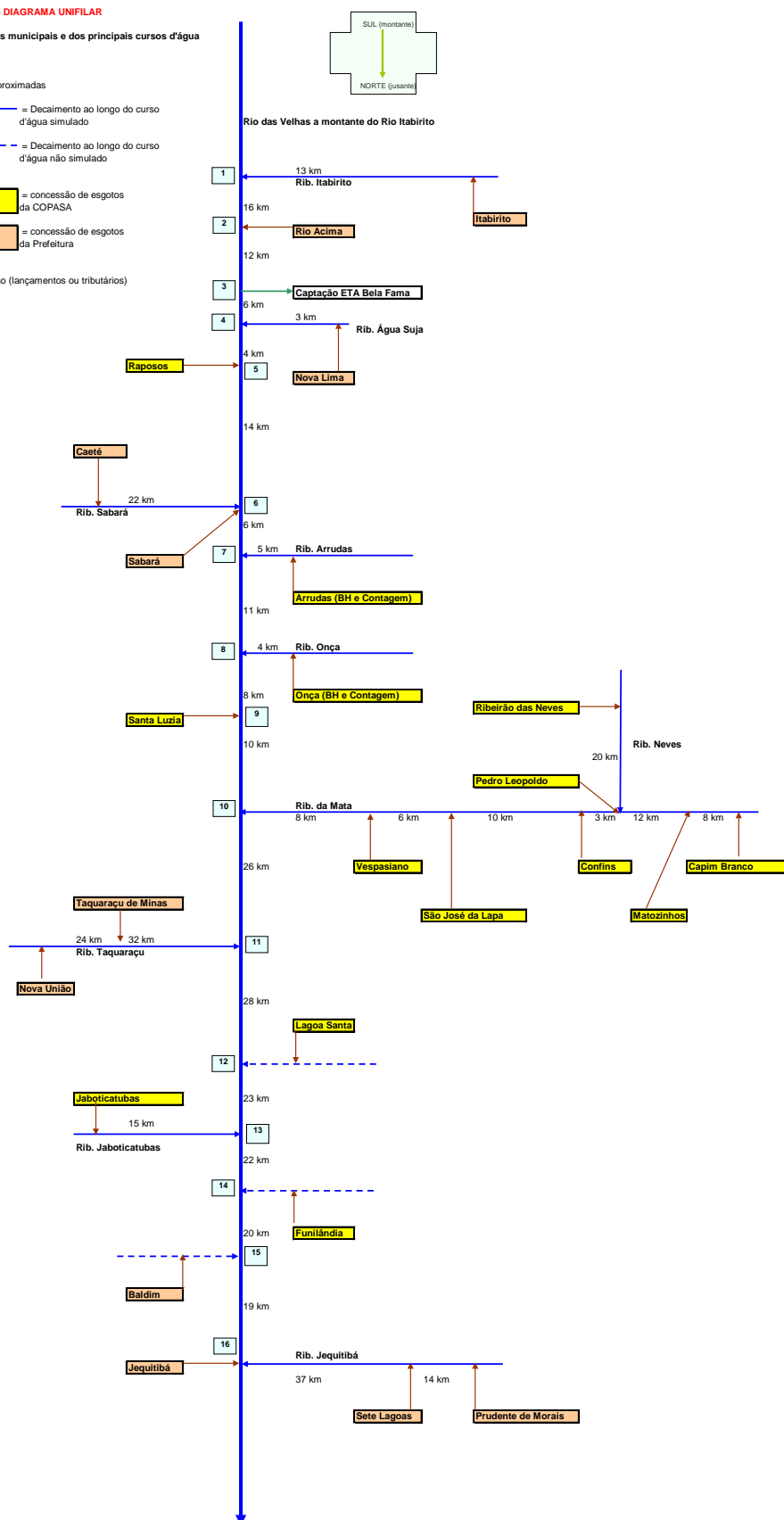


Fig. 2. Diagrama unifilar do trecho estudado da bacia do Rio das Velhas

Obs: algumas distâncias são aproximadas

O estudo baseou-se na modelagem matemática da concentração de coliformes termotolerantes (fecais) no Rio das Velhas, resultantes dos lançamentos de esgotos brutos e tratados dos municípios, contribuições difusas, diluições com tributários e com contribuição direta ao longo do rio, além do próprio decaimento dos coliformes com o tempo de percurso.

Estruturou-se um modelo matemático baseado em decaimento bacteriano segundo a cinética de primeira ordem em planilha eletrônica, usando a plataforma QUAL-UFGM (von Sperling, 2007), permitindo a composição de diferentes cenários e a obtenção de gráficos com os perfis de concentração ao longo do Rio das Velhas. Utilizaram-se os dados das estações de monitoramento do Projeto Águas de Minas (anos 1997 a 2009) para se verificar o ajuste dos dados estimados pelo modelo com os dados experimentais. Com base no ajuste a estes dados, foi estimado o coeficiente de decaimento bacteriano como $3,5 \text{ d}^{-1}$ (20°C). Devido ao grande número de dados de entrada utilizados nos estudos (dados hidráulicos e hidrológicos, bem como de quantidade e qualidade das águas e dos esgotos), estes não são apresentados neste trabalho, por questões de limitação de espaço. No entanto, mais do que analisar os valores absolutos resultantes das simulações, neste trabalho são discutidas principalmente as condições de implementação das medidas de controle dos coliformes, associados a seu grau de dificuldade relativa.

As simulações dos cenários de intervenção foram feitas para as condições atuais, com três vazões de referência para o Rio das Velhas, tributários e contribuição direta:

- $Q_{7,10}$ (representativa de condições de seca)
- Q_{50} (condições médias)
- Q_{10} (período chuvoso)

Os cenários de intervenção simulados foram:

- condições atuais, sem intervenção;
- cenário com desinfecção nas ETEs Arrudas e Onça (principais ETEs do estado);
- cenário com coleta e tratamento de 95% dos esgotos e implantação de desinfecção em todos os municípios da área de estudo;
- cenário com cálculo dos valores requeridos para os percentuais de tratamento de esgotos e as eficiências de remoção de coliformes com base em processo de otimização matemática.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Calibração do modelo

A Figura 3 contempla o resultado da calibração do modelo, apresentando o perfil longitudinal de coliformes termotolerantes no trecho estudado do Rio das Velhas. São apresentados os dados observados (monitoramento do Projeto Águas de Minas nos anos de 1997 a 2009 – percentis 10%, 50% e 90%) e os dados simulados. Destacam-se os seguintes pontos:

- O bom ajuste do modelo aos dados experimentais, dando a confiabilidade necessária para a utilização do modelo nos cenários prospectivos de intervenção.
- O atual descumprimento quase que sistemático à meta de balneabilidade (1000 NMP/100mL)
- A tendência de decaimento das concentrações de coliformes a jusante do Rib. da Mata (jusante das cargas poluidoras mais importantes da Região Metropolitana de Belo Horizonte).
- A aparente superestimação dos valores calculados, no trecho entre o Rib. Arrudas e Lagoa Santa. A razão para tal é que os dados monitorados neste trecho quase sempre são reportados como “> 160.000 NMP/100mL”. Nas estatísticas, os valores entraram como 160.000 ($=1,60\text{E}+5$) NMP/100mL. Assim, na realidade, são os dados monitorados que estão inferiores aos da representação da realidade.

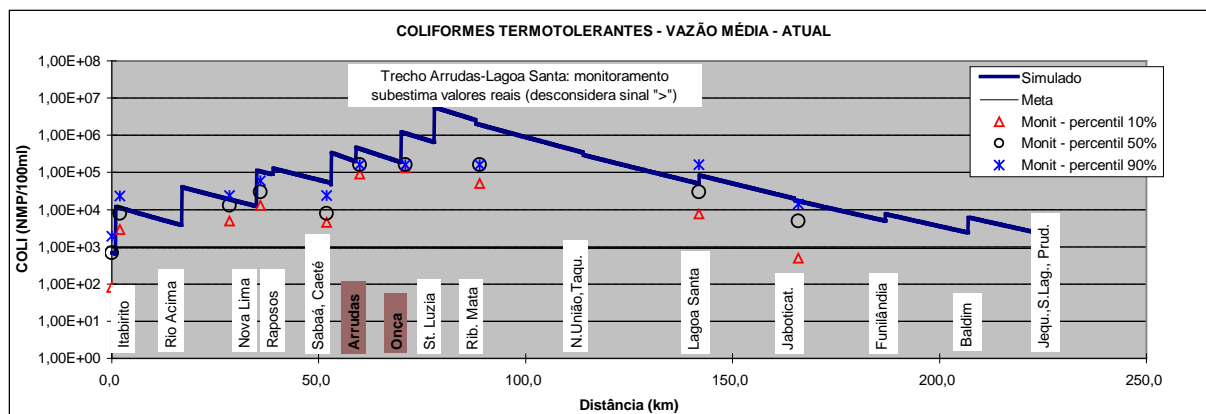


Fig. 3. Simulação de coliformes no Rio das Velhas. Comparação entre os valores simulados pelo modelo (vazão Q_{50} , condições atuais) e os dados monitorados

Condições atuais e Cenário 1. Desinfecção nas ETEs Arrudas e Onça.

A Figura 4 apresenta o perfil de coliformes termotolerantes no Rio das Velhas, no trecho em estudo, comparando duas situações: (a) situação atual e (b) condições atuais, com a desinfecção dos esgotos das ETEs Arrudas e Onça. Estas ETEs são as mais importantes de Minas Gerais, e representam 92% dos esgotos tratados na área de estudo. Ambas as simulações foram feitas para a vazão de referência de $Q_{7,10}$. Observa-se que ambas as curvas praticamente se superpõem, ou seja, apenas a desinfecção dos esgotos das duas ETEs principais é insuficiente para uma mudança no perfil de coliformes no Rio das Velhas. A explicação se deve ao fato de que o percentual de esgotos não tratados em ambas as bacias, lançando uma vazão com concentrações elevadíssimas de coliformes (entre 10^7 e 10^8 NMP/100mL) implica em uma carga tal que, mesmo com o componente dos esgotos tratados e desinfetados, resultará em uma elevada concentração de coliformes.

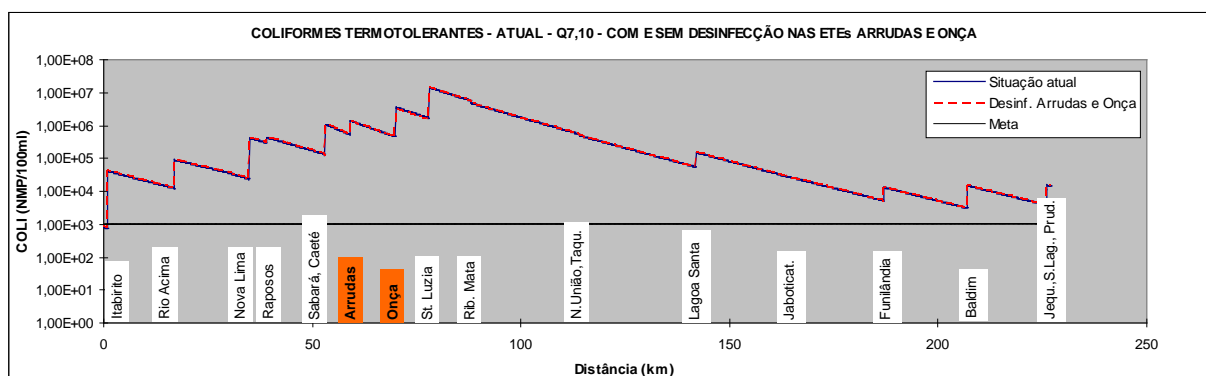


Fig. 4. Simulação de coliformes no Rio das Velhas. Condições atuais. Vazão $Q_{7,10}$. Cenário com e sem desinfecção nas ETEs Arrudas e Onça.

Para tornar mais claro este ponto de grande importância no contexto do presente estudo, apresenta-se a seguir um **exemplo de cálculo hipotético**. Neste exemplo, assume-se uma concentração de coliformes termotolerantes no esgoto bruto de $1,00 \times 10^8$ NMP/100mL. Caso uma determinada localidade tenha excelentes indicadores de tratamento, com 99% dos seus esgotos coletados e tratados, e no tratamento dos esgotos haja desinfecção com uma eficiência de remoção de coliformes de 99,9999% (6 unidades logarítmicas) a concentração de coliformes resultante na mistura esgotos brutos e esgotos tratados a serem lançados no corpo receptor será dada pela seguinte média ponderada:

$$\begin{aligned} \text{Coli mistura} &= \frac{\text{Vazão não tratada} \times \text{Coli esgoto bruto} + \text{Vazão tratada} \times \text{Coli esgoto tratado}}{\text{Vazão não tratada} + \text{Vazão tratada}} = \\ &= \frac{0,01 \times 1 \times 10^8 + 0,99 \times (1 - 0,999999) \times 1 \times 10^8}{0,01 + 0,99} = \frac{1.000.000 + 100}{1} = 1.000.100 = 1,0001 \times 10^6 \text{ NMP/100mL} \end{aligned}$$

Por outro lado, caso a ETE não tivesse desinfecção, com uma eficiência de remoção típica de coliformes de 99%, a concentração resultante na mistura seria:

$$\text{Coli mistura} = \frac{\text{Vazão não tratada} \times \text{Coli esgoto bruto} + \text{Vazão tratada} \times \text{Coli esgoto tratado}}{\text{Vazão não tratada} + \text{Vazão tratada}} =$$

$$= \frac{0,01 \times 1 \times 10^8 + 0,99 \times (1 - 0,99) \times 1 \times 10^8}{0,01 + 0,99} = \frac{1.000.000 + 990.000}{1} = 1.990.000 = 1,9900 \times 10^6 \text{ NMP/100mL}$$

Assim, em ambas as situações (com e sem desinfecção), a ordem de grandeza dos coliformes sendo lançados no corpo receptor é de 10^6 NMP/100mL. Para se chegar a uma concentração de 10^3 NMP/100mL no corpo receptor, elevadíssimas razões de diluição (vazão do rio / vazão dos esgotos) seriam necessárias, conjuntamente com uma ótima qualidade da água no rio, a montante do lançamento. Nos cálculos, observa-se que o termo relacionado aos esgotos não tratados tem um grande peso no resultado da concentração resultante da mistura. Desta forma, valores mais baixos de coliformes nos efluentes só seriam alcançados caso houvesse, além da desinfecção, **uma elevadíssima percentagem do esgoto coletado e tratado**.

A Tabela 1 dá continuidade a este exemplo hipotético, mostrando a concentração resultante de coliformes na mistura, para distintos percentuais de tratamento dos esgotos gerados e de remoção de coliformes no tratamento dos esgotos brutos. Fica clara a dificuldade de se obter baixos valores, e **concentrações da ordem de 10^4 NMP/100mL no efluente final só são alcançadas com percentuais de tratamento superiores a 99,99% e eficiências de remoção no tratamento também superiores a 99,99%** (zona hachurada na tabela).

Tabela 1. Concentrações de coliformes resultantes na mistura esgoto bruto – esgoto tratado, para distintos percentuais de tratamento do esgoto gerado e eficiências de remoção de coliformes no tratamento (exemplo hipotético, com concentração de coliformes no esgoto bruto = $1,00 \times 10^8$ NMP/100mL)

Porcentagem do esgoto gerado que é coletado e tratado	Eficiência na remoção de coliformes no tratamento dos esgotos								
	0%	90%	99%	99,9%	99,99%	99,999%	99,9999%	99,99999%	99,999999%
	0 log	1 log	2 log	3 log	4 log	5 log	6 log	7 log	8 log
0%	1,0000E+08	1,0000E+08	1,0000E+08	1,0000E+08	1,0000E+08	1,0000E+08	1,0000E+08	1,0000E+08	1,0000E+08
10%	1,0000E+08	9,1000E+07	9,0100E+07	9,0010E+07	9,0001E+07	9,0000E+07	9,0000E+07	9,0000E+07	9,0000E+07
20%	1,0000E+08	8,2000E+07	8,0200E+07	8,0020E+07	8,0002E+07	8,0000E+07	8,0000E+07	8,0000E+07	8,0000E+07
30%	1,0000E+08	7,3000E+07	7,0300E+07	7,0030E+07	7,0003E+07	7,0000E+07	7,0000E+07	7,0000E+07	7,0000E+07
40%	1,0000E+08	6,4000E+07	6,0400E+07	6,0040E+07	6,0004E+07	6,0000E+07	6,0000E+07	6,0000E+07	6,0000E+07
50%	1,0000E+08	5,5000E+07	5,0500E+07	5,0050E+07	5,0005E+07	5,0001E+07	5,0000E+07	5,0000E+07	5,0000E+07
60%	1,0000E+08	4,6000E+07	4,0600E+07	4,0060E+07	4,0006E+07	4,0001E+07	4,0000E+07	4,0000E+07	4,0000E+07
70%	1,0000E+08	3,7000E+07	3,0700E+07	3,0070E+07	3,0007E+07	3,0001E+07	3,0000E+07	3,0000E+07	3,0000E+07
80%	1,0000E+08	2,8000E+07	2,0800E+07	2,0080E+07	2,0008E+07	2,0001E+07	2,0000E+07	2,0000E+07	2,0000E+07
90%	1,0000E+08	1,9000E+07	1,0900E+07	1,0090E+07	1,0009E+07	1,0001E+07	1,0000E+07	1,0000E+07	1,0000E+07
99%	1,0000E+08	1,0900E+07	1,9900E+06	1,0990E+06	1,0099E+06	1,0010E+06	1,0001E+06	1,0000E+06	1,0000E+06
99,9%	1,0000E+08	1,0090E+07	1,0990E+06	1,9990E+05	1,0999E+05	1,0100E+05	1,0010E+05	1,0001E+05	1,0000E+05
99,99%	1,0000E+08	1,0009E+07	1,0099E+06	1,0999E+05	1,9999E+04	1,1000E+04	1,0100E+04	1,0010E+04	1,0001E+04
99,999%	1,0000E+08	1,0001E+07	1,0010E+06	1,0100E+05	1,1000E+04	2,0000E+03	1,1000E+03	1,0100E+03	1,0010E+03
99,9999%	1,0000E+08	1,0000E+07	1,0001E+06	1,0010E+05	1,0100E+04	1,1000E+03	2,0000E+02	1,1000E+02	1,0100E+02
99,99999%	1,0000E+08	1,0000E+07	1,0000E+06	1,0001E+05	1,0010E+04	1,0100E+03	1,1000E+02	2,0000E+01	1,1000E+01

Retornando ao estudo do Rio das Velhas, tem-se que, em condições de $Q_{7,10}$, a vazão do Rio das Velhas próximo à confluência com os ribeirões Arrudas e Onça é de cerca de pouco mais do dobro da vazão de esgotos lançados por estas duas bacias. Assim, a capacidade de diluição é mínima (além do fato do Rio das Velhas já vir poluído), o que faz com que seriam necessários valores bem baixos de coliformes na mistura esgotos brutos e esgotos tratados, ou seja, seria imperioso se ter elevadíssimos percentuais de tratamento e eficiências de remoção de coliformes no tratamento nestas duas bacias.

Mesmo em condições de elevada vazão no Rio das Velhas (Q_{10}), a vazão do rio neste ponto é apenas cerca de 10 vezes a vazão de esgotos destas duas bacias. Em consequência, mesmo que o Rio das Velhas chegasse

totalmente limpo, a diluição dos esgotos das bacias do Arrudas e Onça reduziria as concentrações de coliformes apenas em torno de 10 vezes (uma ordem de magnitude), o que é claramente insuficiente no presente cenário.

Cenário 2. Tratamento de 95% dos esgotos gerados e desinfecção nas estações de tratamento de esgotos dos sistemas de esgotamento sanitário de todos os municípios.

O cenário seguinte a ser retratado é aquele em que todos os municípios do trecho em estudo implementam uma excelente infraestrutura sanitária (95% de tratamento dos esgotos gerados e desinfecção em todas as ETEs). A Figura 5 apresenta os perfis de coliformes calculados para as três vazões de referência: $Q_{7,10}$ (seco), Q_{50} (média), Q_{10} (chuvoso). Em todos os casos, as concentrações resultantes são muito superiores à meta de 1000 NMP/100mL. Observa-se mais uma vez a dificuldade em se atingir a meta de coliformes, mesmo com a implantação de uma invejável infraestrutura de esgotamento sanitário. Mesmo em condições de maior capacidade de diluição (Q_{50} , e mesmo Q_{10}), as concentrações de coliformes permanecem bastante elevadas, e bem superiores à meta de 1000 NMP/100mL.

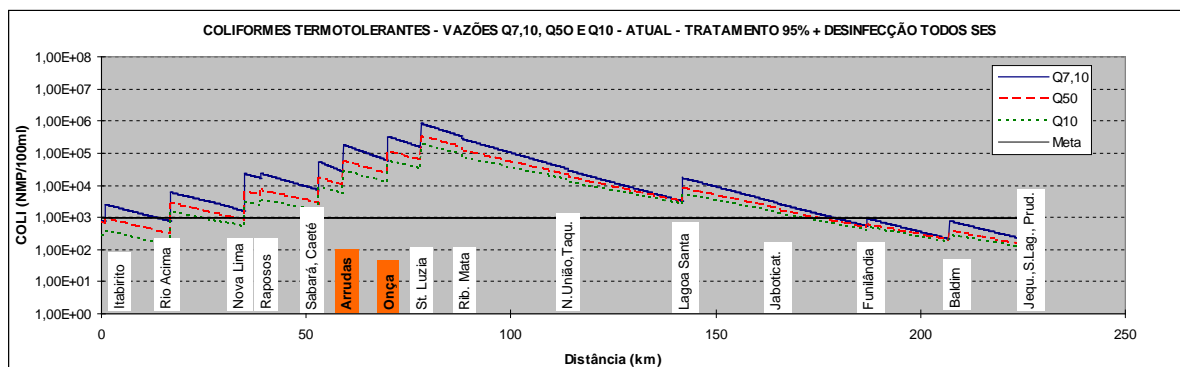


Fig. 5. Simulação de coliformes no Rio das Velhas. Condições atuais. Cenário com 95% de tratamento dos esgotos gerados e desinfecção de todos os esgotos tratados em todos os municípios da área de estudo. Vazões $Q_{7,10}$ (seco), Q_{50} (média), Q_{10} (chuvoso).

Cenário 3. Definição dos percentuais de tratamento e das eficiências de desinfecção por processo de otimização matemática (Solver).

Neste cenário, adotaram-se percentuais variados para o índice de tratamento de esgotos e para a remoção de coliformes no tratamento, para cada município. No entanto, o diferencial da abordagem proposta é que ela buscou obter estes percentuais utilizando um método de otimização matemático, por meio da ferramenta Solver, do Excel. Buscou-se, neste cenário, a solução mais econômica possível. Esta condição é a de se ter, no Rio das Velhas, as maiores concentrações de coliformes possíveis, sujeitas à restrição de que a concentração máxima não poderá ultrapassar o valor de 1000 NMP/100mL.

O algoritmo Solver buscou maximizar a soma dos logaritmos (base 10) das concentrações de coliformes calculadas em cada segmento. Como o trecho simulado tem 227 km, e cada segmento tem 0,1 km, tem-se ao todo 2270 segmentos. Os \log_{10} das concentrações de coliformes em todos estes segmentos foram somados, e em cada iteração do processo de convergência, buscava-se aumentar o valor do somatório (mas sujeito à restrição de que o valor máximo de coliformes calculado em cada segmento não fosse maior que 1000 NMP/100mL).

Em cada etapa do processo de iteração, o Solver variava os percentuais de tratamento e as eficiências de remoção de coliformes, para cada município. No entanto, para impedir que a solução do Solver se concentrasse em algumas poucas localidades (com maior vazão) ou que as localidades menores não tivessem que tratar os seus esgotos, foram estabelecidas também restrições de percentuais mínimos e máximos de tratamento dos esgotos e de remoção de coliformes no tratamento. As restrições introduzidas são descritas a seguir (não são apresentados aqui os valores das restrições para cada localidade):

- Percentual de coleta e tratamento dos esgotos gerados de 80%: indicativo de que o município tem um bom índice de tratamento dos esgotos (em termos da realidade brasileira)
- Percentuais de coleta e tratamento dos esgotos gerados de 99%, 99,9% e 99,99%: elevadíssimos percentuais de tratamento, praticamente indicativos da universalização do serviço
- Eficiência de remoção de coliformes no tratamento de esgotos de 99%: valor alcançável por processos de tratamento secundário eficientes
- Eficiência de remoção de coliformes no tratamento de esgotos de 99,9998%: indicativo da existência de uma eficiente desinfecção no tratamento dos esgotos, capaz de reduzir concentrações no esgoto bruto de $5,00 \times 10^7$ NMP/100mL a $1,00 \times 10^2$ NMP/100mL no efluente final.

A Tabela 2 mostra os valores obtidos pelo Solver para as percentagens de esgoto tratado e eficiências de remoção de coliformes. Nas localidades de montante há a necessidade de elevadas porcentagens de coleta e tratamento, juntamente com a desinfecção dos esgotos. Para as localidades com maior vazão, persiste a necessidade da desinfecção, associada a uma elevadíssima porcentagem de coleta e tratamento dos esgotos. Para as localidades de menor porte, situadas a jusante, os requisitos de tratamento e de desinfecção são muito menores, aproximando-se dos valores mínimos das restrições.

Tabela 2. Valores obtidos pelo Solver para as percentagens de tratamento e eficiências de remoção de coliformes. Vazão $Q_{7,10}$. Aplicação do Solver para todo o trecho de estudo do Rio das Velhas.

Município	Porcentagem de tratamento dos esgotos (%)	Eficiência de remoção de coliformes no tratamento de esgotos (%)
Itabirito	99%	99,9998%
Rio Acima	99,9%	99,9998%
Nova Lima	99,9%	99,9998%
Raposos	99,99%	99,9998%
Caeté	98,9%	99%
Sabará	99,99%	99,9998%
Arrudas (BH-Contagem)	99,998%	99,999%
Onça (BH-Contagem)	99,998%	99,999%
Santa Luzia	99,997%	99,998%
Capim Branco	80%	80%
Matozinhos	82%	82%
Ribeirão das Neves	99,99%	99,9998%
Pedro Leopoldo	99,99%	99,7%
Confins	99%	99%
São José da Lapa	99%	99%
Vespasiano	99,99%	99,9998%
Nova União	80%	80%
Taquaraçu de Minas	80%	80%
Lagoa Santa	99,9%	99,9998%
Jaboticatubas	83%	83%
Funilândia	99%	99%
Baldim	99%	99%
Prudente de Moraes	80%	80%
Sete Lagoas	99%	99%
Jequitibá	90%	90%

A Figura 6 apresenta os perfis de coliformes termotolerantes no Rio das Velhas, resultantes das soluções propostas pelo Solver. Para $Q_{7,10}$, observa-se o estrito atendimento à meta de qualidade, com alguns pontos onde as concentrações máximas se aproximam da meta (solução mais econômica). A Figura 6 apresenta ainda o perfil resultante das mesmas soluções (porcentagens de tratamento e eficiências de remoção), aplicadas a condições de vazão média Q_{50} . Naturalmente que, com a maior capacidade de diluição, os valores resultantes são um pouco inferiores, dando um pouco mais de folga com relação ao atendimento à meta de qualidade.

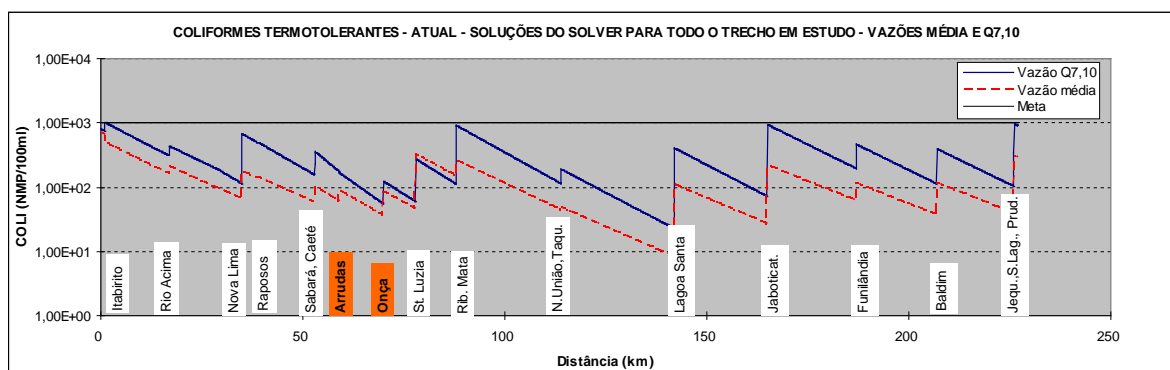


Fig. 6. Simulação de coliformes no Rio das Velhas. Condições atuais. Cenário com a porcentagem de tratamento dos esgotos e a eficiência de remoção de coliformes em cada município definida pelo Solver. Vazões Q_{7,10} e Q₅₀.

CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados das simulações indicaram que a simples desinfecção dos esgotos nas principais ETEs da bacia (Arrudas e Onça) não é suficiente para se ter condições de balneabilidade no Rio das Velhas.

As simulações indicaram ainda que, mesmo em condições hipotéticas de excelente infraestrutura sanitária (coleta e tratamento de 95% dos esgotos gerados, e tratamento com desinfecção em todas as ETEs), as concentrações de coliformes termotolerantes no Rio das Velhas deverão estar acima do máximo permitido de 1000 NMP/100mL.

A definição dos percentuais de coleta e tratamento de esgotos e da eficiência de remoção de coliformes nas ETEs por meio de otimização matemática indicou a necessidade de elevadíssimas porcentagens de tratamento de esgotos (próximas a 100%, ou seja, **universalização do tratamento**) e da **implementação de desinfecção na maioria das ETEs** (com maior destaque para os municípios de montante, bem como, naturalmente, para os municípios de maior porte).

Tanto o elevado percentual de coleta e tratamento dos esgotos, quanto a necessidade de desinfecção nas ETEs, têm papéis igualmente importantes. Este é um dos pontos mais relevantes do trabalho, com uma conclusão que pode ser extrapolada para vários outros cursos d'água brasileiros. Neste sentido, vale comentar que a implementação de apenas desinfecção trará impactos positivos insuficientes no tocante aos coliformes no Rio das Velhas. De fato, a desinfecção passa a ser mais importante à medida que os percentuais de coleta e tratamento se elevam. Fica patente, portanto, a necessidade de se continuar investindo na busca da universalização no tratamento de esgotos na área em estudo.

Caso não se implemente esta infraestrutura que se aproxima de uma situação idealizada, dificilmente se terá condições de balneabilidade consistente no Rio das Velhas, no trecho em estudo. Apesar do razoável porte do rio, sua capacidade de diluição é pequena, comparada com a grande vazão de esgotos que recebe (**situação similar à de vários cursos d'água brasileiros**). Como os coliformes estão presentes em elevadíssimas concentrações nos esgotos, a obtenção de valores compatíveis com o padrão de balneabilidade só pode ser alcançada com um grande esforço e com a implementação de uma invejável estrutura de coleta, tratamento e desinfecção dos esgotos. Dos parâmetros de qualidade das águas, os coliformes estão entre os mais difíceis de se enquadrarem dentro da legislação em corpos d'água que percorrem trechos urbanizados.

Esta constatação, de um elevado grau de dificuldade no cumprimento da meta de balneabilidade, não deve servir de desestímulo à contínua expansão da infraestrutura sanitária nas bacias hidrográficas. Os benefícios resultantes, em termos ambientais e de saúde pública, são inúmeros e, mesmo que fora do escopo de análise do presente trabalho, são facilmente reconhecíveis pela população e retratados por vários indicadores ambientais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. COPASA (2009). *Apresentação sobre a Meta 2010*. Companhia de Saneamento de Minas Gerais.
2. IGAM (Instituto Mineiro de Gestão das Águas) (2009). *Relatório da Qualidade das Águas Superficiais de Minas Gerais*.
3. IGAM/CBH Rio das Velhas (2004). *Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio das Velhas*.
4. VON SPERLING, M. (2007). *Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. Volume 7. Estudos e modelagem da qualidade da água de rios*. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - UFMG. 588 p.
5. WHO (World Health Organisation). (1999) *Health-based monitoring of recreational waters: the feasibility of a new approach (The Annapolis Protocol)*, Geneve.
6. WHO (World Health Organisation). (2003) *Guidelines for safe recreational water environments*, Geneve.