

**AVALIAÇÃO DO TEOR DE METAIS
PESADOS NA ÁGUA TRATADA DO
MUNICÍPIO DE LAVRAS - MG**

RACHELE CRISTINA DE PAULA CHAVES

2008

RACHELE CRISTINA DE PAULA CHAVES

**AVALIAÇÃO DO TEOR DE METAIS PESADOS NA ÁGUA TRATADA
DO MUNICÍPIO DE LAVRAS - MG**

Dissertação apresentada à Universidade Federal
de Lavras como parte das exigências do
Programa de Pós-Graduação em Agroquímica,
para a obtenção do título de "Mestre".

Orientador

Prof. Dr. Mário César Guerreiro

LAVRAS
MINAS GERAIS - BRASIL
2008

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da
Biblioteca Central da UFLA**

Chaves, Rachele Cristina de Paula.

Avaliação do teor de metais pesados na água tratada do município de
Lavras – MG / Rachele Cristina de Paula Chaves. -- Lavras : UFLA, 2008.
44 p. : il.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2008.

Orientador: Mário César Guerreiro.

Bibliografia.

1. Água tratada. 2. Metais pesados. 3. Lavras-MG. I. Universidade
Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 628.161

RACHELE CRISTINA DE PAULA CHAVES

**AVALIAÇÃO DO TEOR DE METAIS PESADOS NA ÁGUA TRATADA
DO MUNICÍPIO DE LAVRAS - MG**

Dissertação apresentada à Universidade Federal
de Lavras como parte das exigências do
Programa de Pós-graduação em Agroquímica
para a obtenção do título de "Mestre".

APROVADA em 7 de março de 2008

Prof. Dr. José Maria Lima

UFLA

Dr. Alexandre dos Santos Anastácio

UFLA

Prof. Mário César Guerreiro
UFLA
(Orientador)

LAVRAS
MINAS GERAIS – BRASIL

*Ontem, foste o que eras.
Amanhã, serás o que fizeres de ti.
Hoje, porém, és o que és.
Por isso mesmo, não te detenhas.
Aproveita agora para realizar o bem
que deves e já possas fazer".
Emmanuel*

*“Penetra o tempo a água em movimento
desde os mananciais subterrâneos
às nuvens inclinadas pelo vento.
Nos longos céus, de esperas e de enganos,
a água da memória vara o tempo
em minutos, em meses, em mil anos.
E permanece intemporal o rio,
lançando ao tempo o eterno desafio”.
(Jaguaribe - memória das águas)*

Dedico este trabalho à Família Chaves
Que é o meu alicerce, minha inspiração
E tudo que sou e tenho na vida.
Com amor , aos meus amores.

AGRADECIMENTOS

O desenvolvimento e conclusão deste trabalho só foram possíveis com a ajuda de pessoas especiais que participam em maior ou em menor grau na minha vida, mas que sem dúvida, tornaram possível esta dissertação.

Então, agradeço às minhas amigas de mestrado, Sarah, Diana e Maráisa, por toda ajuda na hora de estudar, nas técnicas laboratoriais e na hora de dividir os acontecimentos da vida.

Agradeço, em especial, ao Marcos, meu amigo e anjo da guarda, pelas coisas incríveis que me ensinou e pelo tanto que me apoiou e incentivou. Vou te levar sempre comigo.

À família Valentine que muitas vezes me acolheu como um membro seu, me dando abrigo, alimentação e carinho. Em especial à minha amiga de todas as horas e acontecimentos Simony Valentine que tem estado presente comigo nos últimos oito anos, fazendo uma diferença incrível em minha vida. Obrigada, amiga.

A Hudson Zoff, que teve uma participação imprescindível no meu trabalho. Agradeço e dedico.

À Miriam, secretária da Pós Graduação, que sempre esteve a minha disposição, facilitando imensamente os tramites burocráticos.

Aos professores do Departamento de Química da Universidade Federal de Lavras. Alguns me acompanharam desde a graduação, outros eu conheci na pós, mas todos, de alguma forma, deixaram sua marca em meu trabalho. Muito obrigada.

Agradeço, ao meu orientador, Professor Mário César Guerreiro, que por mais que seja um gênio, sempre conseguiu conversar comigo sobre as coisas simples, ter um olhar amigo e uma paciência indescritível. Obrigada por entender o meu tempo e as minhas limitações. Obrigada pela sua colaboração.

À família Hanania, que nos últimos meses teve uma participação especial em minha vida e que por muitas vezes, foram também, a minha família. Em especial, a Fábio R. Hanania, que me apóia, incentiva e encoraja a continuar.

Agradeço às minhas irmãs, Raiane, Tereza e Elizabeth. Aos meus cunhados, Márcio, Renato e Rodrigo e aos meus sobrinhos André, Luíza, Isabela e Alice. Obrigada por sermos uma família especial, que tem suas diferenças, mas que sabe que o objetivo final é a união. Obrigada por existirem em minha vida. Vocês fazem a diferença na hora de continuar ou desistir.

Aos amores da minha vida, meu pai, Pedro e minha mãe, Sonia. Obrigada por tudo que sou. Obrigada por poder correr para vocês sob qualquer circunstância. Obrigada, por terem me ensinado que mesmo estando tão longe, somos uma família, e que carregamos um ao outro, em nossos corações. E obrigada por terem me dado condições de chegar até aqui.

Finalmente, agradeço a todas as bênçãos recebidas durante a minha vida. Agradeço a Deus, por estar presente nos meus dias, me capacitando e tornando mais possível o meu caminhar e as minhas conquistas.

SUMÁRIO

	Página
RESUMO	i
ABSTRACT	ii
1 INTRODUÇÃO	1
2 REFERENCIAL TEÓRICO	3
2.1 Qualidade da água.....	3
2.2 Metais, metais pesados e elemento traço	10
2.2.1 Metais como agentes poluidores das águas	12
2.2.1.1 Cádmio (Cd)	13
2.2.1.2 Chumbo (Pb).....	14
2.2.1.3 Cobre (Cu)	15
2.2.1.4 Zinco (Zn).....	15
2.2.1.5 Cromo	16
2.2.1.6 Níquel	17
2.3 Métodos analíticos para a determinação de metais e espécies químicas	17
2.3.1 Espectroscopia de Emissão ótica por plasma Induzido por acoplamento..	18
2.4 Tratamento de água	20
2.4.1 Aspecto histórico	20
2.4.2 Companhia de Saneamento de Minas Gerais - COPASA.....	22
2.4.3 Distribuição de água em Lavras.....	24
3 MATERIAL E MÉTODOS	26
3.1 Descrição da área experimental	26
3.2 Pontos de amostragem	27
3.3 Coleta e preservação das amostras de água	29
3.4 Métodos analíticos	29
3.5 Análise estatística	30

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	31
4.1 Metais pesados (Cd, Cr, Cu, Ni, Pb e Zn).....	33
5 CONCLUSÕES	39
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	40

RESUMO

CHAVES, Rachele Cristina de Paula. **Avaliação do teor de metais pesados na água tratada do município de Lavras - MG**. 2008. 44p. Dissertação (Mestrado em Agroquímica e Agrobioquímica) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.¹

O presente trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar e quantificar as concentrações de metais pesados na água potável distribuída em Lavras, MG. As amostras foram coletadas em agosto de 2005 e março de 2006, em 10 regiões da cidade de Lavras, tendo sido avaliados os seguintes metais Ca, Mg, Al, Ni, Zn, Cr, Cu, Pb, Fe e Cd, nas amostras tratadas nos pontos de captação. As análises exploratória e quantitativa foram feitas por espectrometria de emissão óptica, empregando-se plasma gerado por indução. As concentrações dos metais na maioria das amostras estavam abaixo do limite de detecção (LD) e os valores para todos os elementos encontrava-se abaixo dos limites aceitáveis pela resolução CONAMA 357. Apenas em algumas amostras foram encontrados valores acima do limite de quantificação, porém, abaixo dos valores limitrofes. Assim, verificou-se que os teores dos metais na água distribuída na cidade de Lavras apresentam-se abaixo dos limites aceitáveis, no que diz respeito à presença de metais tóxicos, sendo possível constatar que o sistema de distribuição não interfere na qualidade da água distribuída.

¹ Comitê de Orientação: Mário César Guerreiro – UFLA (Orientador).

ABSTRACT

CHAVES, R. C. P.; **Assessment of the levels of heavy metals in treated water in the city of Lavras - MG.** 2008. 44p. Dissertation (Master's Degree in Agrochemistry and Agrobiochemistry) – Federal University of Lavras, Lavras, MG.²

The goal of this work was to evaluate and quantify the concentration of heavy metals in drinkable water distributed in Lavras. Samples were collected in August, 2005 and March, 2006 in 10 regions of the city of Lavras, and tests were performed for the following metals: Ca, Mg, Al, Ni, Zn, Cr, Cu, Pb, Fe, Cd. Exploratory and quantitative analyses were determined by inductively coupled plasma optical emission spectrometry. The metal concentrations in most samples were under detection limits (DL), being also under the acceptable limits established by CONAMA resolution 357. Only in a few samples values above detection limits were observed, but these were within acceptable levels. Thus, it was verified that metal levels in water distributed in the city of Lavras are within acceptable limits, as regards the presence of toxic metals, and therefore it was concluded that the distribution system does not interfere in the quality of distributed water.

² Guidance Committee: Mário César Guerreiro – UFLA (Major Professor).

1 INTRODUÇÃO

Essencial à vida, a água é também necessária às diversas atividades humanas, sendo um componente fundamental da paisagem e do meio ambiente. Recurso de valor inestimável, a água é empregada na geração de energia elétrica, no abastecimento doméstico e industrial, na irrigação, na navegação, na recreação, na agricultura e na assimilação e condução de esgotos. Até nos processos produtivos nos quais a água não é incorporada ao produto final e em que seus sistemas de controle da poluição atmosférica são realizados a seco, utiliza-se água, pelo menos para o resfriamento de equipamentos, para a produção de vapor e para uso geral dos empregados.

As reservas hídricas do planeta Terra são estimadas em 1.400.000 km³. Embora expressivas, apenas 2% delas são de água doce, constituindo os rios, lagos e águas subterrâneas; cerca de 1% é de neve e geleiras permanentes e apenas 0,0005% de vapor d'água na atmosfera. Excluindo-se a água contida nas calotas polares e nos aquíferos, a humanidade conta com pouco mais de 2.000 km³ das águas dos rios para suprir a quase totalidade de suas demandas. Destes recursos, cerca da metade (946 km³) encontra-se na América do Sul (Rebouças et al., 1999).

A quantidade de água existente na natureza é um recurso natural e renovável, mas a sua disponibilidade diminui gradativamente, devido à degradação do meio ambiente, ao crescimento populacional e à expansão da fronteira agrícola. Assim, o combate às fontes poluidoras, juntamente com o reflorestamento e o incentivo aos programas de agricultura sustentável, é uma medida a ser urgentemente considerada no planejamento voltado para a utilização dos recursos naturais, no âmbito da bacia hidrográfica. É fundamental, portanto, repensar a utilização dos recursos hídricos, ampliando-se a discussão

das relações entre o homem e a água, uma vez que as decisões de hoje comprometerão a sobrevivência de gerações futuras.

Devido ao aumento da poluição, os tratamentos da água para consumo público tem se tornado cada vez mais difíceis e onerosos . É fundamental que a água para consumo humano esteja em condições adequadas de uso, estando livre de qualquer tipo de sabor, odor, substância química ou microrganismos prejudiciais à saúde.

Dados recentes da Organização Mundial de Saúde (OMS) revelaram que mais de 3 milhões de pessoas morrem, a cada ano, em decorrência de doenças veiculadas pela água. Segundo Kofi Anan, ex-secretário-geral da Organização das Nações Unidas (ONU), à falta de água de boa qualidade são atribuídas cerca de 80% das doenças e mortes nos países em desenvolvimento, incluindo o Brasil.

Em Minas Gerais, a empresa responsável pelo tratamento e fornecimento de água é a COPASA, que fornece água tratada para aproximadamente 11 milhões de pessoas, em cerca de 800 localidades no estado. A distribuição é feita através de mais de 36.500 quilômetros de tubulações. Em Lavras, cidade situada no sul de Minas Gerais, a distribuição de água é realizada pela COPASA desde 1978.

A importância de se manter a qualidade desejada para o produto que chega às caixas d'água da população, a fim de se evitar problemas de saúde pública, justifica este trabalho cujos objetivos foram avaliar e quantificar as concentrações de metais pesados na água fornecida à população lavrense.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Qualidade da água

Diariamente, imensos volumes de resíduos domiciliares e industriais altamente poluidores são continuamente produzidos. Seja por falta de recursos, seja por negligência, grande parte desses resíduos, sem ter sofrido qualquer tipo de depuração prévia, é lançada nos cursos de água que irão abastecer outras indústrias e as populações situadas a jusante dos emissários.

Os ecossistemas aquáticos acabam, de uma forma ou de outra, servindo como reservatórios temporários ou finais de grande variedade e quantidade de poluentes lançados no ar, no solo ou diretamente nos corpos de água. Dessa forma, a poluição do ambiente aquático, provocada pelo homem, de forma direta ou indireta, por meio da introdução de substâncias inorgânicas ou orgânicas, produz efeitos tais como: I) prejuízo aos seres vivos, II) perigo à saúde humana, III) efeitos negativos às atividades aquáticas (pesca, lazer, etc.) e IV) prejuízo à qualidade da água para o uso na agricultura, na indústria e em outras atividades econômicas (Meybeck & Helmer, 1992).

A poluição das águas pode ser conceituada como a ocorrência de fenômenos (adição de substâncias ou formas de energia modificando o meio) que, direta ou indiretamente, alteram a natureza de um corpo d'água, de forma a prejudicar seu uso. É importante destacar que o prejuízo refere-se não apenas ao ser humano, mas também à biota aquática, às atividades sociais e econômicas em geral, aos recursos naturais e aos acervos históricos, culturais e paisagísticos (Sperling, 1996). Este mesmo autor afirma que a poluição das águas pode ocorrer de três modos: (i) introdução de substâncias artificiais e estranhas ao meio, como, por exemplo, o lançamento de fertilizantes e agrotóxicos em rios ou a contaminação por organismos patogênicos; (ii) introdução de substâncias

naturais e estranhas ao meio, como aporte de sedimentos às águas de um lago, reduzindo seu volume útil e (iii) alteração na proporção ou nas características dos elementos constituintes do próprio meio, como, por exemplo, a diminuição do teor de oxigênio dissolvido nas águas de um rio, em decorrência da presença de matéria orgânica.

Visto que a água é um recurso renovável, o seu reuso pode ser comprometido pela qualidade, que se deteriora em função do grande aporte de resíduos e rejeitos oriundos das atividades antrópicas (Lemes et al., 2001).

A expressão “qualidade da água” não se refere a um grau de pureza absoluto ou mesmo próximo do absoluto, mas sim a um padrão tão próximo quanto possível do “natural”, ou seja, tal como se encontra nas nascentes, antes do contato do homem. Além disso, há um grau de pureza desejável, o qual depende do seu uso, que inclui abastecimento, irrigação, atividades industrial e pesqueira, entre outros (Branco et al., 1991).

Os padrões de qualidade da água são utilizados para que se possam regulamentar os níveis de poluentes a serem mantidos num corpo de água, dependendo do uso a que ela está destinada. Esses padrões atendem a dois propósitos: (i) manter a qualidade do curso da água ou definir a meta a ser atingida e (ii) constituir a base para definir os níveis de tratamento a serem adotados, de modo que os efluentes lançados não alterem as características do curso da água (Porto et al., 1991).

Em Minas Gerais, o Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM) determina a qualidade da água utilizando o Índice de Qualidade de Águas (IQA), que foi desenvolvido pela “National Sanitation Foundation”, dos Estados Unidos. Para estabelecer esse índice, a referida fundação realizou pesquisas de opinião junto a vários especialistas da área ambiental, quando cada técnico selecionou, a seu critério, os parâmetros relevantes para avaliar a qualidade das águas e estipulou, para cada um deles, um peso relativo. O tratamento dos dados

da mencionada pesquisa definiu um conjunto de nove parâmetros considerados mais representativos para a caracterização da qualidade das águas: oxigênio dissolvido, coliformes fecais, pH, demanda bioquímica de oxigênio, nitrato, fosfato total, temperatura da água, turbidez e sólidos totais. Para cada parâmetro, foram traçadas curvas médias de variação da qualidade das águas em função de sua concentração e atribuído um peso, de acordo com a sua importância relativa no cálculo do IQA. Assim definido, o IQA reflete a interferência por esgotos sanitários e outros materiais orgânicos, nutrientes e sólidos. (IGAM, 2008).

Na esfera federal, a Portaria MINTER n° GM 0013 de 15/01/76 inicialmente regulamentou a classificação dos corpos de água superficiais, com os respectivos padrões de qualidade e os padrões de emissão para efluentes (Lemes et al., 2001). Em 1986, essa portaria foi substituída pela Resolução n° 20 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), que estabelece nova classificação para as águas doces, bem como para as águas salobras e salinas do território nacional. São definidas nove classes, segundo os usos preponderantes a que as águas se destinam (CONAMA, 2008). Em 2005, a Resolução n°20 foi substituída pela 357 .

As águas doces, em particular, são classificadas em cinco classes:

I. Classe especial: águas destinadas ao abastecimento doméstico e à preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas, sem prévia ou com simples desinfecção:

II. Classe 1: águas destinadas ao abastecimento doméstico após tratamento simplificado, à proteção das comunidades aquáticas, à recreação do contato primário (natação, esqui aquático e mergulho), à irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas, sem remoção de película e à criação de espécies destinadas à alimentação humana.

III. Classe 2: águas destinadas ao abastecimento doméstico após tratamento convencional, à proteção das comunidades aquáticas, à recreação do contato primário (natação, esqui aquático e mergulho), à irrigação de hortaliças e plantas frutíferas e à criação de espécies destinadas à alimentação humana.

IV. Classe 3: águas destinadas ao abastecimento doméstico após tratamento convencional, à irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras, à dessedentação de animais e aos usos menos exigentes.

V. Classe 4: águas destinadas à navegação comercial, à harmonia paisagística e à recreação do contato secundário.

Para cada classe descrita, a Resolução nº 357 estabelece limites e condições de qualidade a serem respeitados, sendo mais restritivos quanto mais nobre for o uso pretendido.

Outro órgão governamental que controla a qualidade da água, o Ministério da Saúde, em sua Portaria 518/04 MS (Brasil, 2004), estabelece os procedimentos e as responsabilidades, relativos ao controle e à vigilância desta para consumo humano e seu padrão de potabilidade. A portaria resultou em um avanço nos aspectos qualitativos da água a ser consumida pela população, conferindo ao consumidor o direito à informação sobre a água consumida. Essa portaria ressalta claramente que a água potável deve estar em conformidade com os padrões microbiológicos e físico-químicos de potabilidade, assim como vários compostos orgânicos e inorgânicos que podem representar riscos à saúde.

Os significados dos parâmetros de investigações para avaliar a potabilidade de uma água para consumo humano são descritos a seguir:

I. Agrotóxicos: são substâncias químicas destinadas a combater pragas da lavoura e que possuem potencial tóxico ao meio ambiente. A Portaria 518/04 apresenta os seguintes compostos: alaclor, aldrin e dieldrin, atrazina, bentazona, clordano, 2-4 D, DDT, endossulfan, endrin, glifosato, heptacloro e heptacloro

epóxido, hexaclorobenzeno, lindano, metolacoloro, molinato, pendimetalina, pentaclorofenol, permetrina, propanil, simazina e trifluralina;

II. Substâncias orgânicas: podem ser de origem natural, resultante da atividade antrópica ou de reação química no decorrer do tratamento da água. A Portaria 518/04 apresenta os seguintes compostos: acrilamida, benzeno, benzopireno, cloreto de vinila, 1-2-dicloroetano, 1-1-dicloroetano, diclorometano, estireno, tetracloro de carbono, teracloroetano, triclorobenzeno e tricloroetano;

III. Substâncias inorgânicas: são compostos ou características das águas que podem interferir no processo de tratamento ou que causam problemas de saúde pública, dentre as quais a toxicidade. A Portaria 518/04 apresenta os seguintes elementos e compostos químicos: antimônio, arsênico, bário, cádmio, cianeto, chumbo, cobre, cromo, fluoreto, mercúrio, nitrato, nitrito e selênio;

IV. Microcistinas: presentes no interior de alguns gêneros de cianobactérias (ou cianofíceas ou algas azuis) e livres no meio ambiente e possuem potencial de toxicidade;

V. Produtos secundários de desinfecção: dependendo do tipo de desinfetante usado no tratamento, devem ser realizadas as análises dos seguintes compostos: trihalometanos, monocloraamina, cloro livre, 2-4-6-triclorofenol, bromato e clorito.

Essa Portaria também definiu os parâmetros que afetam o aspecto físico da água: cor, turbidez, alumínio, ferro, manganês, sódio, zinco, surfactantes, sulfeto de hidrogênio, odor e gosto. Estes parâmetros estão relacionados a efeitos diversos de caráter estético que, em consequência, causam repulsa ao consumo da água. São eles:

- amônia: dependendo da concentração, ela pode comprometer a eficiência da desinfecção, bem como causar gosto e odor;

- cloretos e sulfatos: teores elevados de cloretos podem interferir nos processos de tratamento e conferir gosto salino à água, enquanto que os sulfatos podem causar efeitos laxativos;
- etilbenzeno, monoclorobenzeno, tolueno e xileno: são solventes de origem orgânica que podem causar odores na água e efeitos adversos à saúde;
- sólidos dissolvidos totais: é um parâmetro utilizado para avaliar a presença de sais inorgânicos e de matéria orgânica estável na água;
- pH: pode ser neutro (pH 7), ácido (pH com valores menores que 7) ou básico (pH com valores maiores que 7);
- coliformes: representa um grupo de bactérias que vivem no intestino de animais de sangue quente, sendo alguns tipos encontrados no meio ambiente. Este parâmetro é um exame para a indicação de contaminação microbiológica;
- bactérias heterotróficas: parâmetro que também indica contaminação microbiológica e está relacionado à presença de matéria orgânica;
- radioatividade alfa e beta: representa a atividade de um material radioativo, no qual se produz uma desintegração nuclear por segundo.

Um resumo das normas governamentais em relação ao limite de metais presentes nas águas para consumo humano, vigentes no Brasil, encontra-se na Tabela 1.

TABELA 1 Comparação entre os valores máximos permissíveis estabelecidos por diferentes instituições governamentais para elementos ou substâncias na água para consumo público.

Elemento	ELEMENTOS INORGÂNICOS QUE AFETAM A SAÚDE					
	Concentração máxima permissível (mg L ⁻¹)					
	Padrão de potabilidade			Padrão de qualidade ambiental ⁵		
	Portaria 36/90MS ¹	Portaria 1469/00MS ²	WHO ³	EPA ⁴	Classes I, II	Classe III
Ag	0,05	-	-	0,05	0,01	0,05
Al	0,2	0,2	0,2	-	0,1	0,2
Ba	1,0	0,7	-	1,0	0,7	1,0
Cd	0,005	0,005	0,005	0,01	0,001	0,01
Co	-	-	-	-	0,05	0,2
Cr	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Cu	1	2	1	1	0,009	0,013
Fe	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	5,0
Mn	0,1	0,1	0,1	0,05	0,1	0,5
Ni	-	-	-	-	0,025	0,025
P	-	-	-	-	0,1	0,05
Pb	0,05	0,05	0,05	0,05	0,01	0,033
Zn	5,0	5,0	5,0	-	0,18	5,0
F	0,6 – 1,7	1,5	1,5	4,0	1,4	1,4
Cl	250	250	250	250	250	250
SO ₄ ²⁻	400	250	400	-	250	250
NO ₃ ⁻ (N)	10	10	10	10	10	10
pH	6,5 a 8,5	6,0 a 9,5	6,5 a 8,5	6,5 a 8,5	6,0 a 9,0	6,0 a 9,0

¹Ministério da Saúde, Portaria n°36/90 (Decreto Estadual 12.342/78, Código Sanitário). ²Ministério da Saúde, Portaria n°1469/2000 (29/12/2000) ³WHO - World Health Organization (ONU) – Guia para Água Potável/Valor experimental– nova Portaria vigente. ⁴EPA – Environmental Protection Agency (EPA, 2003) (EUA) – Critério de Qualidade de Água. ⁵CONAMA, resolução Conama 357 de 2005.

2.2 Metais, metais pesados e elemento traço

A maior parte dos elementos químicos é metálica. Um metal é descrito como um aglomerado de átomos em que os elétrons da camada de valência fluem livremente. Os metais, os metalóides e os não metais são os três grupos dos elementos distinguidos por suas propriedades de ionização e de ligação. Têm, geralmente, alto ponto de fusão, são geralmente duros, de cor amarelada e conduzem eletricidade e calor. Possuem estas propriedades devido, principalmente, à fraca atração nos elétrons de valência, ou seja, aqueles mais externos.

Os metais diferenciam-se dos compostos orgânicos tóxicos por serem absolutamente não-degradáveis, podendo acumular-se nos componentes do ambiente onde manifestam sua toxicidade (Baird et al., 2002). Os metais advêm de fontes naturais, tais como depósitos minerais e, neste caso, são referidos como elementos-traço; quando juntos, constituem menos de 1% da composição das rochas na crosta terrestre (Eleutério, 1997). Estes podem advir de fontes antropogênicas, entre elas, destacam-se a indústria química e metalúrgica, a mineração, alguns pesticidas agrícolas e os esgotos domésticos (Anjos, 2003), como mostrado na Tabela 2.

TABELA 2 Atividades industriais que geram emissão de poluentes metálicos.

	Cd	Cr	Cu	Hg	Pb	Ni	Sn	Zn
Papel								
Petroquímica								
Ind. de cloro e KOH (eletrolítica)								
Fertilizantes								
Refinaria de petróleo								
Usina siderúrgica								
Indústrias de metais não ferrosos								
Veículos automotores e aviões								
Vidro, cimento e cerâmica								
Indústria têxtil								
Indústria de couros								
Usinas termoelétricas								

Fonte: Torem et al. 2002.

O termo elemento-traço tem sido usado para definir metais catiônicos e oxânions que, normalmente, estão presentes em baixas concentrações (usualmente $<1.000 \text{ mg kg}^{-1}$) no solo e nas plantas (Pierzynski et al., 1994, Sparks et al., 1995). Contudo, Al, Fe e Ti, os quais ocorrem em maiores concentrações na litosfera (principalmente em ecossistemas tropicais), também são tratados como elementos-traço por alguns autores (McBride et al., 1994; Kabata-Pendias & Pendias, 2001), em detrimento da expressão metal pesado, a qual nunca foi definida por nenhum órgão oficial na área de química, tendo adquirido, pelo uso exagerado, os mais diversos significados (Duffus, 2001).

Alguns elementos-traços são considerados essenciais, do ponto de vista biológico. Entretanto, mesmo aqueles essenciais podem, sob condições específicas, causar impactos negativos a ecossistemas terrestres e aquáticos, constituindo-se, assim, em contaminantes ou poluentes do solo e da água (Zuliani et al., 2006).

O termo metais pesados refere-se aos elementos e às suas formas iônicas que pertencem ao grupo de transição e não-transição da tabela periódica com densidade maior que 6 kg dm^{-3} . Incluem, dessa forma, metais, semimetais e até não-metais, como o Se; são normalmente associados à poluição, à contaminação e à toxidez a seres vivos, incluindo, entretanto, alguns elementos essenciais aos seres vivos, quando em pequenas concentrações (Alloway & Ayres, 1997).

2.2.1 Metais como agentes poluidores das águas

O interesse sobre acumulação e toxicidade de metais tem crescido nos últimos anos, como consequência das exposições ocupacionais e ambientais ou dos distúrbios causados por estes elementos, induzidos por situações especiais de doença como, por exemplo, a insuficiência renal (Moreira & Moreira, 2004).

A água é o maior vetor de transporte de metais pesados na litosfera, atuando nos sólidos presentes nos solos, nas águas superficiais e subterrâneas, podendo conduzir significantes quantidades de metais tóxicos e proporcionar a interação com vários ciclos hídricos e processos biogeoquímicos (Bourg & Loch, 1995).

Quando se refere à nocividade de um determinado composto, emprega-se o termo toxicidade, ou seja, qualidade daquela espécie que, em pequena quantidade, é capaz de provocar danos consideráveis a um ser vivo. A toxicidade de uma dada concentração de um metal pesado presente em um curso de água natural depende do pH e da quantidade de carbono dissolvido e em suspensão, já que interações, como complexação e adsorção, podem remover, de forma

satisfatória, alguns íons metálicos e eliminar sua atividade biológica potencial (Baird et al., 2002).

Os efeitos tóxicos desses metais podem expressar-se de forma aguda ou crônica. Dentre os mecanismos de toxicidade dos metais, estão incluídas as interações com sistemas enzimáticos, as interações com membranas celulares e os efeitos específicos sobre certos órgãos e sobre o metabolismo celular em geral (Goyer et al., 1986).

Treze metais e metalóides têm sido reconhecidos como potencialmente perigosos para a vida humana e a biota aquática e têm sido incluídos nas listas de poluentes prioritários, ou “Priority Pollutantes List (Black List)”, das agências de controle ambiental do mundo. São eles: Sb, As, Be, Cd, Cr, Cu, Pb, Hg, Ni, Se, Ag, Th e Zn (Novotny et al., 1995).

2.2.1.1 Cádmio (Cd)

O cádmio é um elemento não essencial e altamente tóxico para plantas e animais. Quando puro, é raramente encontrado na natureza, ocorrendo como minerais de Greenockita (CdS) e Otavita (CdCO₃) (Anjos, 2003).

As principais fontes de cádmio são minerais sulfetados, dos quais o cádmio é removido no processo minero-metalúrgicos. Ocorre associado e apresenta comportamento geoquímico semelhante ao do zinco; ambos possuem estrutura atômica e eletronegatividade similares (Smith et al., 1995).

O cádmio tem mais mobilidade em ambientes aquáticos do que a maioria dos outros metais. É também bioacumulativo e persistente no meio ambiente (tempo de meia vida de 10 a 30 anos) (USPHS, 1997). É encontrado em água de superfície ou subterrânea como cátion bivalente, hidratado ou como um complexo iônico com outras substâncias inorgânicas ou orgânicas.

O cádmio é liberado no ar, solo e nas águas, por atividades antrópicas e as principais fontes de contaminação são a produção e o consumo de metais não

ferrosos pela indústria automobilística em pigmentos, estabilizantes para plásticos, baterias, além de uso em foto e litografia e fungicidas (Anjos, 2003).

A prolongada exposição ao cádmio tem causado efeitos crônicos severos predominantemente nos pulmões e nos rins. Efeitos renais crônicos têm sido observados entre a população geral. A exposição por inalação causa enfisema e outros efeitos pulmonares crônicos (Tavares et al., 1990).

A toxicidade do cádmio em resíduos é determinada pelas normas ABNT. Para as águas superficiais, a Resolução CONAMA 357/96 estabelece, para corpos d'água Classes 1 e 2, o valor de 0,001 mg/L, enquanto a Portaria nº 36 do Ministério da Saúde estabelece como potabilidade o valor de 0,005 mg/L (Anjos, 1998).

2.2.1.2 Chumbo (Pb)

O chumbo é um metal macio, flexível e maleável, de cor cinza prateado, funde-se a 327,5°C, tem número atômico 82, peso atômico 207,19 e densidade de 11,35 g cm⁻³ (Malavolta, 1994).

O chumbo tetraetílico tem sido considerado como a maior fonte antropogênica deste elemento no ambiente, em função de ter sido adicionado à gasolina desde a década de 1920 (Tavares et al., 1990). No Brasil, ocorreu a substituição do chumbo pelo álcool, na década de 1980.

O chumbo ocorre em uma variedade de depósitos, principalmente os que contêm cádmio, zinco e cobre. O principal mineral de chumbo é a galena, sulfeto de chumbo (PbS), ocorrendo também anglesita, sulfato de chumbo (PbSO₄) e cerussita, e carbonato de chumbo (PbCO₃) (Anjos, 2003).

O chumbo afeta diversos órgãos e sistemas. Dentre seus efeitos, destacam-se: decréscimo do quociente de inteligência (QI); efeitos sobre o sistema nervoso, com déficit nas funções cognitivas; diminuição das funções

sensoriais, nervosas involuntárias e renais, e alguns estudos epidemiológicos demonstram a ocorrência de partos prematuros (Who et al., 1995).

2.2.1.3 Cobre (Cu)

O cobre é um elemento avermelhado, dúctil e maleável, bom condutor elétrico e de calor. Funde-se a 1.082°C, tem número atômico 29, peso atômico 63,546 e densidade de 8,96 g cm⁻³. Ocorre como um metal natural em várias formas minerais, principalmente cuprita e malaquita. O estado de valência mais comum é o Cu⁺², podendo também assumir a forma iônica Cu⁺ (Malavolta, 1994; Eleutério, 1997; Figueiredo, 2000).

O cobre ocorre nas águas superficiais principalmente como compostos quelados de Cu⁺², ocorrendo na forma de complexado insolúvel com hidróxidos e ligado a carbonato e com compostos orgânicos, podendo apresentar relativa solubilidade (Kadlec & Knight, 1996).

Existem poucos casos reportados sobre efeitos agudos do cobre. Entre eles, destacam-se queimação gástrica, náuseas, vômitos, diarréias, lesões no trato gastrointestinal e anemia hemolítica. Efeito crônico é raramente reportado, exceto o Mal de Wilson, responsável pelo acúmulo de cobre no fígado, no cérebro e nos rins (Quinaglia, 2001).

Para as águas superficiais, a resolução CONAMA 357/86 estabelece, para corpos d'água Classe 2, o valor de 0,05 mg L⁻¹ de Cu total, enquanto a Portaria número 1469 do Ministério da Saúde estabelece como potabilidade o valor de 2 mg L⁻¹ de Cu (Anjos, 1998).

2.2.1.4 Zinco (Zn)

O zinco (Zn) é um elemento essencial à vida das plantas e dos animais. É um metal lustroso, dúctil e maleável, quando aquecido. Funde-se a 419°C, tem

número atômico 30, peso atômico 65,39 e densidade de 7,14 g cm⁻³ (Anjos, 2003).

Ocorre na forma livre e combinado na forma de ZnS (Blenda), ZnCO₃ (smithsonita), ZnO (zincira) e calamina. A principal ocorrência de zinco no mundo vem da mineralização de sulfetos de zinco (ZnS), muitas vezes associado a sulfetos de outros metais, principalmente chumbo, cádmio, cobre e ferro (Smith et al., 1995).

O zinco ocorre nas águas superficiais como íons divalentes Zn²⁺, na qual forma hidretos iônicos, carbonatos e complexados como orgânicos (Kadlec & Knight, 1996).

2.2.1.5 Cromo

Embora existam muitos estados de oxidação do cromo na natureza, apenas as formas trivalente (III) e hexavalente (VI) são consideradas de importância biológica. Em ambientes aquáticos, o Cr (VI) está presente predominantemente em forma solúvel. Essas formas solúveis podem ser estáveis o suficiente para sofrerem o transporte entre meios; no entanto, o cromo (VI), eventualmente, é convertido em cromo (III), por meio de espécies redutoras, como substâncias orgânicas, sulfeto de hidrogênio, enxofre, sulfeto de ferro, amônio e nitrito (USPHS, 1997, Kimbrough et al., 1999).

Na forma trivalente, o cromo é essencial ao metabolismo humano e sua carência causa doenças. Já na forma hexavalente, é tóxico e cancerígeno. Sendo assim, os limites máximos são estabelecidos basicamente em função do cromo hexavalente. Os organismos aquáticos inferiores podem ser prejudicados por concentrações de cromo acima de 0,1mg L⁻¹, enquanto o crescimento de algas já está sendo inibido no âmbito de concentrações de cromo entre 0,03 e 0,032 mg L⁻¹. É comumente utilizado em aplicações industriais e domésticas, como na

produção de alumínio anodizado, aço inoxidável, tintas, pigmentos, explosivos, papel e fotografia (IGAM, 2008).

2.2.1.6 Níquel

O níquel é um metal de transição que tem como principais fontes de contaminação utensílios de cozinha, baterias níquel-cádmio, jóias, cosméticos, exposição industrial, óleos hidrogenados, trabalhadores de cerâmica, permanentes (cabelo) a frio, soldas.

É um metal cancerígeno e pode causar dermatite de contato, gengivites, erupções na pele, estomatite, tonturas, dores articulares, osteoporose e fadiga crônica.

2.3 Métodos analíticos para a determinação de metais e espécies químicas

As técnicas instrumentais analíticas comumente utilizadas para a determinação de elementos em nível de traços são: espectrometria de absorção atômica com chama (AAS), espectrometria de absorção atômica com atomização eletrotérmica (ou forno de grafite) (GF-AAS), espectrometria de absorção de fluorescência atômica (FAAS), espectrometria de emissão óptica com plasma de argônio induzido por acoplamento (ICP-OES), espectrometria de massas com plasma de argônio (ICP-MS), análise por ativação neutrônica (NAA), espectrometria de emissão de raios X emitido por partículas (PIXE), espectrometria por fluorescência de raios X (XRF), cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC), cromatografia iônica (IC) e métodos polarográficos, voltamétricos e potenciométricos (Clement & Yang, 1995).

A espectrometria de absorção atômica (GF - AAS) de chama é aplicável a concentrações moderadas ($1-100 \mu\text{g L}^{-1}$); já a AAS com forno de grafite geralmente é mais sensível ($0,01-3 \mu\text{g L}^{-1}$). A cromatografia iônica, além da vantagem de ser também multielementar, pode analisar espécies iônicas e

também íons com funções organolépticas. A técnica de ICP-OES, no que diz respeito a limite de detecção, é menos sensível quando comparada ao método de AAS com forno de grafite, porém, é multielementar, o que facilita as análises em grande escala (Pires, 1989; Clement & Yang, 1995).

2.3.1 Espectroscopia de Emissão ótica por plasma Induzido por acoplamento

O plasma induzido é uma mistura gasosa condutora de eletricidade, que contém uma concentração significativa de cátions e anions (Skoog, 1998).

A tocha (quartzo), que é a configuração que sustenta o plasma, circundada por um bobina de indução (resfriada a água ou ar) através da qual a energia de até 2-3 kW, é fornecida, sendo o gerador de frequência de 27 ou 40 MHz.

A amostra líquida é introduzida seguindo na forma de aerosol nos nebulizadores comuns ou por nebulizadores ultra-sônicos. Geralmente, se emprega o nebulizador de fluxo cruzado que tem uma boa resistência ao ácido fluorídrico (HF) empregado em extrações químicas, não entope facilmente e suporta solução contendo 5% de sal. Para soluções com alta concentração de sal, o nebulizador tipo *spray* (Babington) é o mais adequado. O nebulizador tipo “Meinhard” dá uma boa sensibilidade para soluções com concentração salina abaixo de 1%. O nebulizador tipo ultra-sônico requer uma concentração salina muito menor do que os nebulizadores pneumáticos (fluxo cruzado, Meinhard e Babington), que resulta em um aumento de sensibilidade da ordem de 10 a 50 vezes (Alloway & Ayres, 1997).

A amostra em solução, por meio da nebulização, transforma-se em aerosol, o qual, após dessolvatação, passa a partícula seca que, por volatilização-dissociação, vai para a forma de vapores atômicos-vapores iônicos, os quais são excitados na forma de átomos-íons por meio de um mecanismo de excitação

colisional. A tendência dos elétrons excitados é a de voltarem ao estado fundamental e, ao fazerem-no, devolvem a energia de emissão, sendo os comprimentos de onda característicos de cada elemento (Figura 1), e a intensidade da linha do espectro é proporcional à concentração do elemento em determinação (Oliveira, 1998).

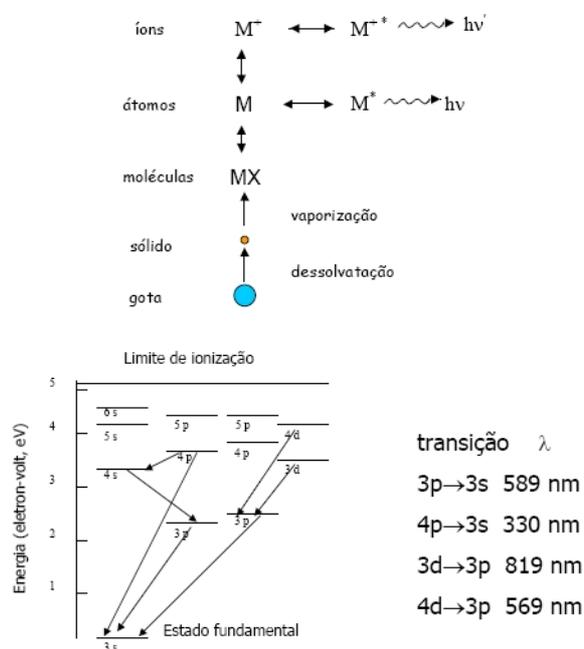


FIGURA 1 Esquema de dessolvatação, vaporização, atomização, ionização e emissão para um sal e as linhas de emissão para o sódio atômico.

2.4 Tratamento de água

2.4.1 Aspecto histórico

Na instalação de grupos humanos, uma das primeiras preocupações foi a de estabelecer uma rede para a circulação de água. Inicialmente, as povoações sempre se localizavam nas proximidades das fontes; com a transformação dos povoados em cidades, as reservas das vertentes tornavam-se, em alguns casos, insuficientes e expostas à contaminação. Já se reconhecia a importância de se manter saudáveis as populações, necessitando, para isso, dispor de canalizações para o abastecimento d'água e esgotamento sanitário, como as descobertas em diversas cidades antigas. A canalização da água para os múltiplos usos já existia, por exemplo, no Antigo Egito e na Mesopotâmia (Silva, 1998).

No Brasil, a partir do século XVIII, o abastecimento público de água era feito por meio de chafarizes ou de fontes próprias. O aqueduto da Lapa, o primeiro a ser construído no Brasil, em 1723, no Rio de Janeiro, transportava a água captada no rio Carioca até o chafariz do atual Largo da Carioca. A partir daí, esta concepção espalhou-se como modelo para outras cidades do país (Teles, 1984).

As outras ações ditas de saneamento, tais como remoção de dejetos e de lixo, eram tratadas de forma individualizada pelas famílias. A administração portuguesa determinava que a captação e a distribuição da água eram de responsabilidade exclusiva de cada vila, embora as atribuições municipais fossem mal delimitadas e subordinadas à centralização monárquica (Costa, 1994).

Destaca-se que a intervenção institucional no país, desde as suas origens, deu-se de forma descontínua e, muitas vezes, atrelada aos interesses específicos individuais, ou de setores influentes. As medidas necessárias eram tomadas após

a instalação dos problemas, ou seja, quando a situação já tinha se tornado insustentável, atingindo também os grupos privilegiados (Benchimol 1992).

Do ponto de vista técnico, uma das medidas tomadas no século XVIII foi a imediata construção de rede de abastecimento de água e esgotos, logo após os surtos epidêmicos. Assim, complementa Benchimol (1992):

“Teve início no Rio de Janeiro a comercialização da água, que deixou de ser um bem natural para se transformar em mercadoria, revestida de um valor de troca. O capital – e com ele, uma nova base tecnológica - penetraram na esfera de uma necessidade vital, potencializada pelo crescimento da população e pelo conjunto de transformações sócio-econômicas que revolviam a estrutura urbana da cidade” (Silva, 1998).

O tratamento de água para consumo humano como um dos pilares do saneamento básico vivencia, já há alguns anos, nítida dicotomia. Por um lado, sucedem-se padrões de potabilidade progressivamente mais restritivos, em termos do crescente número de parâmetros e dos limites aos mesmos relacionados e, por outro, a deterioração das características das águas naturais por poluição pontual e difusa decorrente, sobretudo das atividades antrópicas (Lopes & Libiano, 2005).

Nos sistemas de distribuição de água potável, a qualidade desta pode sofrer uma série de mudanças, fazendo com que a qualidade da água na torneira do usuário se diferencie da qualidade da água que deixa a estação de tratamento. Tais mudanças podem ser causadas por variações químicas e biológicas ou por uma perda de integridade do sistema (Deininger et al., 1992). Alguns fatores que influenciam tais mudanças incluem: (1) qualidade química e biológica da fonte hídrica; (2) eficácia do processo de tratamento, reservatório (armazenagem) e sistema de distribuição; (3) idade, tipo, projeto e manutenção da rede e (4) qualidade da água tratada (Clark & Coyle, 1989).

O efeito da mistura de água de diferentes fontes, tais como uma combinação de poços, fontes superficiais ou ambos, pode influenciar muito a qualidade da água na rede. A irregularidade do abastecimento na rede de uma determinada área urbana pode também modificar a qualidade da água tratada com a introdução de agentes patogênicos (Barcelos et al., 1998).

Nos países em desenvolvimento, em virtude das precárias condições de saneamento e da má qualidade das águas de consumo humano, as doenças de veiculação hídrica, como, por exemplo, febre tifóide, cólera, poliomielite, hepatite A, verminoses e amebíase, entre outras, têm sido responsáveis por vários surtos epidêmicos e pelas elevadas taxas de mortalidade infantil (Leser et al., 1985).

2.4.2 Companhia de Saneamento de Minas Gerais - COPASA

Em 1971, o Governo Federal criou o Plano Nacional de Saneamento – Planasa, que definia metas a serem alcançadas, pelo país, na área de saneamento, destinando, inclusive, recursos financeiros para a implantação do plano. O Departamento Municipal de Águas e Esgoto - DEMAE que, na época, cuidava do saneamento em Belo Horizonte, aderiu à COMAG, beneficiando-se dos recursos federais a serem repassados através do Planasa.

Com a adesão do DEMAE e as modificações introduzidas pelo Planasa, a Comag teve um grande impulso. A partir daí, a empresa passaria por uma série de modificações, alterando, inclusive, sua denominação para Companhia de Saneamento de Minas Gerais - COPASA MG, por meio da Lei 6.475, de 14 de novembro de 1974.

Atualmente, a COPASA fornece água tratada para, aproximadamente, 11 milhões de pessoas, em cerca de 800 localidades de Minas Gerais. A distribuição é feita por meio de mais de 36.500 quilômetros de tubulações. Esta

extensão, colocada em linha reta, quase daria uma volta inteira na Terra, seguindo a linha do Equador (40.075 km) (COPASA, 2006).

Também em Lavras, MG, a empresa responsável pelo tratamento e distribuição de água é a COPASA, que iniciou seus trabalhos em 1978. Para atender à legislação sanitária, realiza um controle de qualidade que realiza análises antes, durante e depois do processo de tratamento da água.

A COPASA realiza o acompanhamento e a fiscalização das condições e das características das muitas fontes de captação: rios, córregos, lagos e águas subterrâneas, para definir como a água deve ser tratada em cada unidade.

Na Figura 2 é apresentado, esquematicamente, um sistema de tratamento e distribuição de água da COPASA.

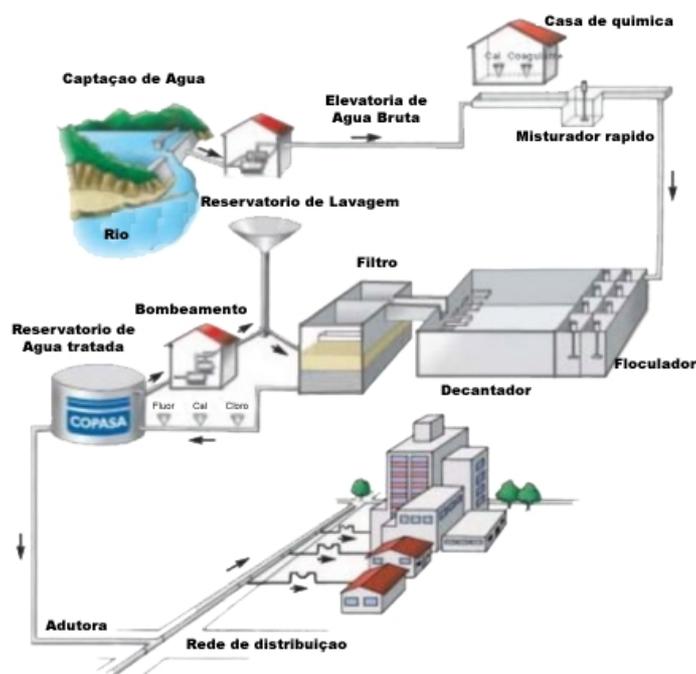


FIGURA 2 Representação esquemática da captação, do tratamento e da distribuição de água. Fonte: COPASA (2006)

2.4.3 Distribuição de água em Lavras

Especificamente em Lavras, MG, a água captada da bacia do Alto Rio Grande é armazenada em reservatórios (concreto e metálico) com capacidade de 7.295 m³. Lavras conta com uma malha de rede de distribuição de 249.908 m, sendo 88% em PVC e o restante em ferro fundido. Abaixo se encontram as desvantagens e as vantagens de cada um desses materiais.

Ferro fundido

Desvantagem: Se o pH da água distribuída não estiver dentro da faixa recomendada pela Portaria 518/04 MS (de 6,0 a 9,5), pode haver incrustação e corrosão da tubulação, ocasionando alterações nas características físico-químicas (aumento da cor e ferro) e microbiológicas (presença de coliformes totais encontrados nos biofilmes aderidos nos pontos de corrosão da tubulação) da água distribuída.

Vantagem: suporta maiores pressões interna e externa, possibilitando utilização exposta.

Policloreto de vinila (PVC)

Desvantagem: não suporta maiores pressões e não deve ser utilizado expostamente, por ser mais frágil e vulnerável à luz solar.

Vantagem: melhor eficiência hidráulica, fácil manuseio e não influencia na qualidade da água.

De acordo com o cronograma de descargas das redes de distribuição, anualmente, são realizadas descargas setorizadas para a manutenção da qualidade da água distribuída. Após as descargas, é feito o monitoramento da qualidade da água distribuída, por meio das análises físico-químicas (cor, pH, cloro residual livre, turbidez e fluoreto) e microbiológicas (PCA - HBC/UFC por

ml) a fim de verificar se está dentro dos Padrões de Potabilidade da Portaria 518/04 MS.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Descrição da área experimental

A pesquisa foi realizada na cidade de Lavras, localizada no Sul de Minas Gerais, a 234 km de Belo Horizonte (Figura 3).



FIGURA 3 Localização de Lavras no estado de Minas Gerais.

Fonte: Minas Gerais (2008)

Com 566,1 km² e índice pluviométrico médio anual de 1.529,7 mm, a cidade de Lavras é servida pela bacia do Alto Rio Grande (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística-IBGE, 2000). Essa bacia é constituída por três sub-bacias, correspondendo aos principais braços do rio Grande: a sub-bacia do rio das Mortes (6.000 km²), a do rio Capivari (2.000 km²) e a do rio Grande (7.000 km²) (Zuliane, 2006). A cidade tem, hoje, aproximadamente, 89.000 habitantes (IBGE, 2000), dos quais 87.709 recebem água tratada pela COPASA.

3.2 Pontos de amostragem

O delineamento experimental baseou-se em uma amostragem estratificada. A cidade foi dividida em dez setores, como mostrado na Figura 4, levando-se em consideração a distância da Estação de Tratamento de Água da COPASA (Figura 4). Os dez setores foram escolhidos pelo critério de densidade populacional, conforme informações da empresa MDA – Pesquisas de Opinião Pública e Consultoria Estatística.

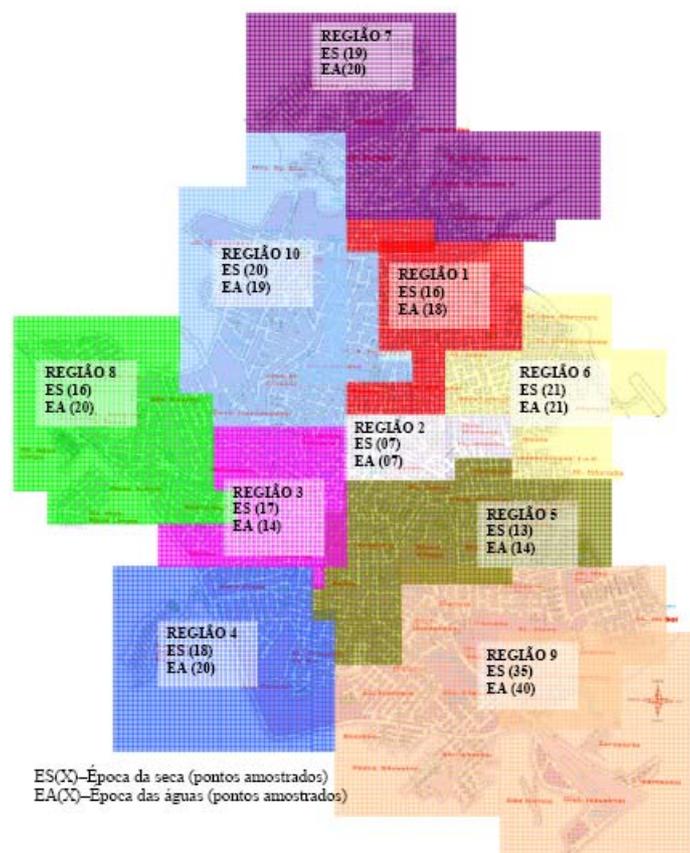


FIGURA 4 Setores e número de pontos de amostragem da água distribuída em cada setor da cidade de Lavras, MG.

A unidade amostral (elementos do extrato) corresponde à quadra na qual foi, por meio de sorteio, escolhida uma residência para se efetuar a amostragem. Depois de definido o tamanho de cada extrato, foi feito o sorteio da unidade amostral.

Foram feitas coletas em duas épocas distintas, uma no período das águas e outra no período das secas. Em cada período foram coletadas cerca de 200 amostras.

O número de amostras por setor foi determinado pelo critério proporcional, de acordo com a expressão:

$$n_i = \frac{N_i n}{N}$$

Em que: n_i = número de pontos de amostragem

n = número de elementos do extrato

N = número total de habitantes

Segundo a MDA, a região mais povoada é a 9 e a menos povoada é a 2, como ilustra o gráfico da Figura 5.

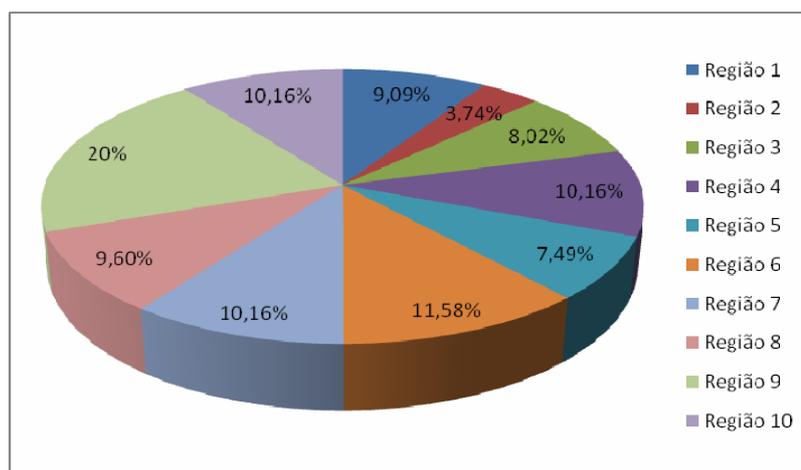


FIGURA 5 Porcentagem de habitantes por região.

3.3 Coleta e preservação das amostras de água

As coletas foram realizadas conforme recomendação do Standard Methods (1985). Foram coletados 150 ml de água na torneira do registro de cada residência aleatoriamente escolhida, além da água da estação de tratamento de água da COPASA e de água bruta dos rios de abastecimento.

As amostras foram coletadas em frascos de polietileno previamente limpos e descontaminados. Após a coleta, as amostras foram filtradas em filtro de 0,45 μm , acidificadas com HNO_3 e, posteriormente, refrigeradas a, aproximadamente, 4°C até a análise dos metais.

Para os elementos Ca, Mg, Al e Fe também foram feitas análises do teor total, após digestão com ácido nítrico em forno de microondas.

As coletas foram realizadas no período de 17 a 22 de agosto de 2005, (estação da seca) e de 13 a 18 de março de 2006 (estação das chuvas).

3.4 Métodos analíticos

Os metais ou elementos de interesse (Al, Ca, Cd, Cr, Cu, Fe, Mg, Ni, Pb, Zn) foram determinados semi-quantitativamente por espectrometria de emissão óptica com plasma de argônio induzido por acoplamento (ICP-OES), escolhendo-se as linhas de emissão recomendada para a análise de cada um dos metais.

Apenas para os metais para os quais foram observados valores acima dos limites permitidos pela legislação (CONAMA, 2008) foram avaliados os parâmetros de limite de detecção e limite de quantificação, para posterior análise quantitativa. Para segurança, foram utilizadas a primeira e a segunda linhas de emissão recomendadas. Os resultados foram comparados a padrões e o ICP-OES foi calibrado com solução padrão rastreada NIST.

3.5 Análise estatística

Foi comparada a média encontrada na água com o padrão, a fim de se verificar a existência de metais pesados além dos teores permitidos pela legislação sanitária. Os resultados foram comparados utilizando o teste *t-student*, partindo-se das seguintes hipóteses:

$$H_0 : \mu \leq p$$

$$H_1 : \mu > p$$

em que:

p codifica os valores encontrados no limite aceitável;

H_0 : os teores do respectivo elemento são menores do que o limite aceitável para potabilidade da água;

H_1 : os teores estão acima do limite de tolerância.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As amostras foram coletadas em agosto/2005 e em março de 2006, buscando verificar a influência das chuvas na concentração de metais presentes na água distribuída em Lavras. No período das chuvas, a precipitação total nos 45 dias que antecederam a coleta das amostras foi de cerca de 650 mm e a temperatura média foi de 23°C (Figura 5). Para o período das secas, a precipitação acumulada dos 45 dias que antecederam a coleta foi de cerca de 200 mm e a temperatura média de 19°C (Figura 6).

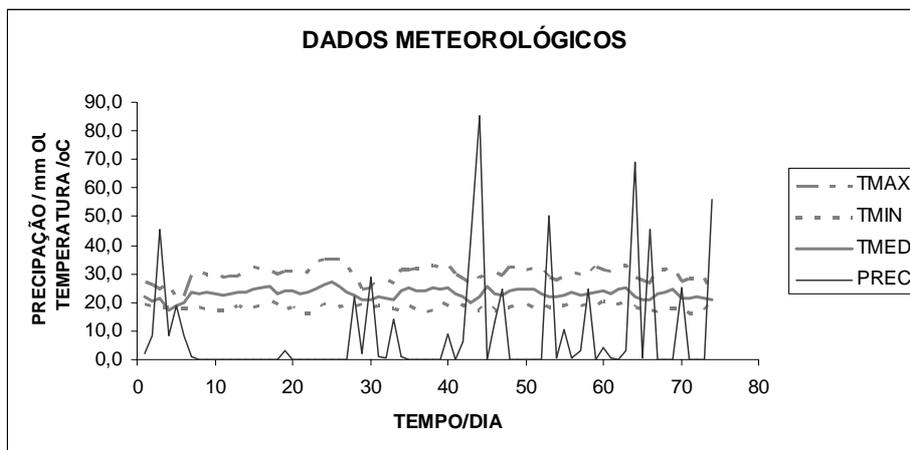


FIGURA 6 Média diária, máxima e mínima das temperaturas, do ar (TMED, TMAX e TMIN) e total diário da precipitação (PREC), durante o período de 1º de janeiro a 15 de março de 2006.
Fonte: Estação Meteorológica da UFLA, Lavras (MG).

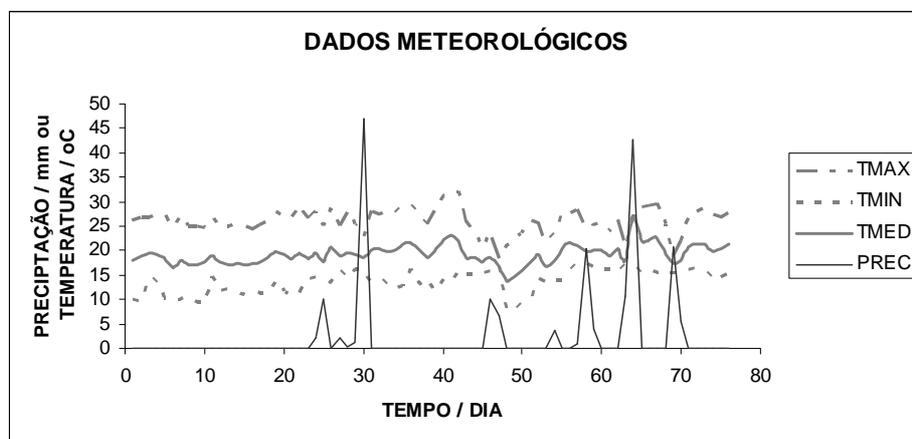


FIGURA 7 Média diária, máxima e mínima das temperaturas, do ar (TMED, TMAX e TMIN) e total diário da precipitação (PREC), durante o período de 1º de agosto a 15 de outubro de 2005.
Fonte: Estação Meteorológica da UFLA, Lavras (MG).

Os metais alumínio, cálcio, ferro e magnésio foram avaliados em relação ao conteúdo total (após digestão com ácido nítrico) para controle da qualidade dos dados (Tabela 3).

TABELA 3 Concentração total dos metais Ca, Mg, Al e Fe.

Análise de conteúdo total								
	Ca (mg/L)		Mg (mg/L)		Al (mg/L)		Fe (mg/L)	
	E A	E S	E A	E S	E A	E S	E A	E S
A T	103 ± 17	164 ± 57	10 ± 5	25 ± 12	4 ± 1	5,4 ± 3	24 ± 8	11 ± 6
D T	31 ± 15	46 ± 3	4,65 ± 0,29	4,38 ± 0,48	0,1 ± 0,06	0,14 ± 0,15	1 ± 0,1	0,66 ± 0,56

Os metais não apresentaram diferença significativa antes (AT) ou depois do tratamento (DT), se comparados com as estações das águas e das secas.

Observa-se que, para os íons de ferro, antes do tratamento, na estação das águas, as concentrações foram maiores do que na estação das secas, o mesmo ocorrendo depois do tratamento. Esses valores apresentam apenas a tendência da diminuição do conteúdo de ferro para a estação da seca, porém, não diferem entre si, pelo teste *t-student*. Essa aparente discrepância deve-se à elevação do pH da água durante a estação da seca (em média, pH de $6,2 \pm 0,3$ para $6,7 \pm 0,2$) que leva à diminuição do conteúdo de ferro solúvel presente na água (que foi avaliado neste trabalho). Após o tratamento da água, as concentrações de ferro reduziram-se drasticamente, ficando abaixo de 1 mg L^{-1} , porém, um pouco acima de $0,3 \text{ mg L}^{-1}$, estabelecido pela Resolução 357 do CONAMA (2005) e pela Portaria 518/2004 do Ministério da Saúde.

4.1 Metais pesados (Cd, Cr, Cu, Ni, Pb e Zn)

A coleta foi distribuída de forma representativa, de modo que seu número total foi de 375 amostras, sendo 182 delas coletadas na época da seca (ES) e 193 coletadas na época das águas (EA).

Nas regiões de menor densidade demográfica, como, por exemplo, as regiões 2 e 5, o número de amostra coletado foi menor; já nas regiões de maior densidade demográfica, como, por exemplo, as regiões 6 e 9, este número foi maior, obedecendo ao critério de proporcionalidade, ou seja, em regiões mais povoadas, foram feitas mais coletas; já em regiões menos povoadas, o número de coletas foi menor. Na Tabela 4 observam-se o número de habitantes por região e as quantidades amostradas na época da seca e na das águas.

TABELA 4 Número de amostras coletadas por região.

Região	Nº de habitantes	Nº de amostras na ES	Nº de amostras na EA
1	8069	16	18
2	3322	07	07
3	7120	17	14
4	9017	18	20
5	6645	13	14
6	9968	21	21
7	9020	19	20
8	8544	16	20
9	18037	35	40
10	9019	20	19

Os limites de detecção, de cada metal (Tabela 5), foram estimados a partir das curvas analíticas e das intensidades dos sinais dos brancos (Skoog, Holler e Nieman, 1998).

TABELA 5 Limite de detecção dos metais pesados.

Elemento	Cd	Pb	Cu	Cr	Ni	Zn
Limite de detecção mg L ⁻¹	0,001	0,009	0,005	0,02	0,02	0,02

Dentre os metais avaliados, o cádmio não foi detectado em nenhuma das amostras. O cobre foi o metal mais detectado, independente da região e do período de coleta (Tabela 6), tendo sua maior concentração na região 8.

TABELA 6 Amostras que apresentaram teor de cobre superior ao limite de detecção (0,005 mg L⁻¹).

RÓTULOS	Cu (327.395)	RÓTULOS	Cu (327.395)	RÓTULOS	Cu (327.395)
EA01-16	0,020	EA08-123	<0,015	ES04-53	<0,015
EA02-20	0,063	EA08-125	0,061	ES05-61	0,024
EA02-21	0,011	EA08-126	0,041	ES05-62	0,061
EA02-22	0,061	EA08-127	0,189	ES06-80	0,022
EA02-25	0,042	EA08-134	0,031	ES06-83	<0,015
EA03-27	0,076	EA09-135	0,006	ES06-92	0,102
EA03-29	0,060	EA09-139	0,035	ES07-111	0,042
EA03-30	0,015	EA09-141	0,006	ES08-116	0,023
EA03-31	0,029	EA09-143	0,127	ES09-132	0,025
EA04-55	0,105	EA09-154	<0,015	ES09-133	<0,015
EA05-69	<0,015	EA09-167	0,128	ES09-134	0,015
EA05-70	0,028	EA09-170	0,091	ES09-142	0,024
EA06-78	<0,015	EA10-188	0,090	ES09-146	0,023
EA06-85	0,139	ES01-01	0,071	ES09-150	<0,015
EA06-88	0,023	ES01-08	0,025	ES09-155	0,010
EA06-93	0,025	ES01-16	0,087	ES09-158	0,085
EA07-109	<0,015	ES03-25	0,022	ES10-170	<0,015

valores apresentados como <0,015 (limite de quantificação) estão compreendidos entre 0,05 e 0,015 mg L⁻¹.

Foram observadas, para o Cu, 70 ocorrências, sendo 38 na ES e 32 na EA (Figura 8). As médias das concentrações para cada período não diferem entre si, pelo teste *t-student*. O maior valor encontrado é cerca de 21 vezes superior ao valor máximo permitido (CONAMA , 2008). A média observada foi de $(0,042 \pm 0,04) \text{ mg L}^{-1}$, que é cerca de cinco vezes superior ao valor máximo permitido (CONAMA , 2008). As médias para os períodos de coleta não foram diferentes entre si pelo teste *t-student*.

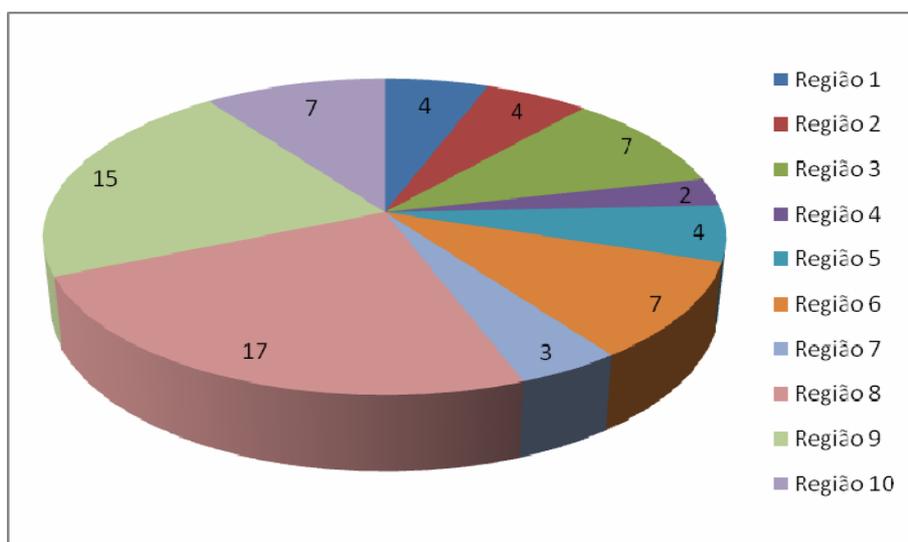


FIGURA 8 Número de inconformidades de cobre por região.

Após o cobre, o zinco foi o metal encontrado com maior frequência (Tabela 7). As médias encontradas para os dois períodos não foram diferentes entre si, porém, o número de pontos amostrados contendo teores de zinco acima do valor máximo foi diferente para os períodos (9 na estação da seca e 18 para a estação das chuvas).

TABELA 7 Amostras que apresentaram teor de zinco superior ao limite de detecção (0,02 mg L⁻¹).

RÓTULOS	Zn (213.857)	RÓTULOS	Zn (213.857)
EA01-02	0,40	EA09-150	0,82
EA02-20	0,36	EA09-162	0,39
EA02-21	0,58	EA09-166	0,49
EA02-25	0,99	EA10-188	0,26
EA03-38	0,36	ES02-23	0,32
EA04-47	0,38	ES05-68	0,47
EA04-52	0,38	ES05-69	0,47
EA04-57	0,38	ES06-92	1,24
EA06-88	0,27	ES07-107	0,35
EA07-102	1,07	ES08-116	0,22
EA08-123	0,49	ES09-142	0,23
EA08-127	0,41	ES09-157	0,22
EA09-142	0,31	ES10-175	0,23
EA09-145	0,26		

Para os demais elementos analisados, não foram verificados muitos pontos fora dos padrões. Para todos os elementos, também não foi verificada tendência para a discriminação de regiões. Os elementos encontrados em maior número de amostras encontram-se distribuídos pelos pontos de coleta, proporcionalizados pelo número de amostragem de cada região (Figura 9).

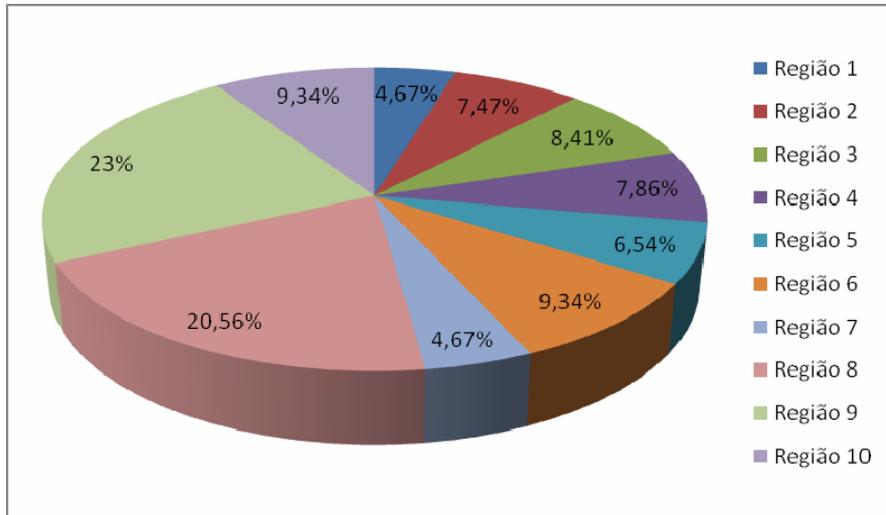


FIGURA 9 Porcentagem de ocorrências por região.

5 CONCLUSÕES

O procedimento experimental para a avaliação dos teores de metais da água distribuída em Lavras empregando-se ICP-OES (espectroscopia de emissão atômica por plasma induzido por acoplamento) foi satisfatório. Os limites de detecção do método foram baixos o suficiente para atender à resolução CONAMA 357/2005. Os dados de qualidade de água foram satisfatórios, apresentando apenas algumas inconformidades com os metais cobre e zinco. Metais como chumbo, níquel, cromo e cádmio não foram encontrados de forma significativa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLOWAY, B.J.; AYRES, D.C. **Chemical principles of environmental pollution**. 2.ed. New York: Chapman & Hall, 1997.

ANJOS, J.A.S.A. **Estratégia para remediação de um sítio contaminado por metais pesados**: estudo de caso. 1998. 157p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mineral) – Universidade de São Paulo. Escola Politécnica, São Paulo.

ANJOS, J.A.S.A. **Avaliação da eficiência de uma zona alagadiça (wetland) no control da poluição por metais pesados**: o caso da Plumbum em Santo Amaro da Purificação/BA. 2003. 328. Tese (Doutorado em Engenharia Mineral) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo, São Paulo.

BAIRD, C. **Química ambiental**. 2.ed. Porto Alegre: Bookman, 2002. 622p.

BARCELLOS, C.; COUTINHO, K.; PINA, M.F.; MAGALHÃES, M.M.A.E.; PAOLA, J.C.M.D.; SANTOS, S.M. Inter-relacionamento de dados ambientais e de saúde: análise de riscos à saúde aplicada ao abastecimento de água no Rio de Janeiro utilizando sistemas de informações geográficas. **Cadernos de Saúde Pública**, v.14, p.597-605, 1998.

BENCHIMOL, J.L. Pereira Passos: um Haussmann tropical. **A renovação urbana da cidade do Rio de Janeiro no início do século XX**. Rio de Janeiro: Biblioteca Carioca, 1992.

BOURG, A.C.M.; LOCH, J.P.G. Mobilization of heavy metals as affected by ph an redox conditions. In: SOLOMONS, W.; STGLIANI, W.M. **Biogeodynamics of Pollutants in soils an Sediments** – risk assessment of delayed and don – linear responses. Berlin: Springer, 1995. p. 87-100.

BRANCO, S.M. A água e o homem. In: PORTO, R.L. (Org.). **Hidrologia ambiental**. São Paulo: EPUSP/ABRH, 1991. p.3-25.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria nº 518, 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. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**. Brasília, 25 mar. 2004.

CLARK, R.M.; COYLE, J.A. Measuring and modeling variations in distributions systems water quality. **Journal of the American Water Works Association**, v.82, p.46-52, 1989.

CLEMENT, R.E.; YANG, P.W. Environmental analysis – review. **Anal. Chem.**, v.69, p.251R-287R, 1995.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução nº 357/2005**. Estabelece nova classificação para as águas doces. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conmam/res/res05/res35705.pdf>>. Acesso em: 21 jan. 2008.

COMPANHIA DE SANEAMENTO DE MINAS GERAIS. **Abastecimento de água**. Disponível em: <www.copasa.com.br>. Acesso em: 21 jan. 2006

COSTA, A. M. **Análise histórica do saneamento no Brasil**. 1994. 164p. Dissertação (Mestrado em Saúde Pública) - Escola Nacional de Saúde Pública. Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro.

DEININGER, R.A.; CLARK, R.M.; HESS, A.F.; BERNSTAM, E.V. Animation and visualization of water quality in distribution systems. **Journal of the American Water Works Association**, v.84, p.48-52, 1992.

DUFFUS, J. H. “Heavy metals” – a meaningless term. *chemistry international*. **Research Triangle Park**, v.23, n.6, p.163-167, 2001.

ELEUTÉRIO, L. **Diagnóstico da situação ambiental da cabeceira da Bacia do Rio Doce, MG, no âmbito das contaminações por metais pesados em sedimentos de fundo**. 1997. 137p. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas, Ouro Preto, MG.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **National sediment quality survey**. Appendix D. Screening values for chemicals evaluated. 2003. Disponível em: <http://www.epa.gov/ostwater/cs/vol1/appdx_d.pdf>. Acesso em: 10 jan. 2007.

FIGUEIREDO, B.R. **Minerais e ambiente**. Campinas: ABDR, 2000. p.117-125

GOYER, R.A. Toxic effects of metals. In: CASARETT, L.J.; KLAASSEN, C. D.; KLAASSEN, K.; WATKINS, J. (Ed.). **Casarett & doull's toxicology: the basic science of poisons**. New York: Macmillan, 1986. p.582-635.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS. **Águas de Minas**. Disponível em: <<http://www.igam.mg.gov.br/aguas/htmls/index.htm>>. Acesso em: 21 jan. 2008.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Estimativas populacionais**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/estimativa2005/default.shm>>. Acesso em: 21 jan. 2008.

KABATA – PENDIAS, A.; PENDIAS, H. **Trace elements in soils and olants**. 3.ed. Boca Raton: CRC, 2001. 413p.

KIMBROUGH, D.E.; COHEN, Y.; WINER, A.M.; CREELMAN, L.; MABUNI, C. A critical assessment of chromium in the environment. **Critical Reviews in Environmental Science and Technology**, v. 29, 1, p.1-46, 1999.

KADLEC, R.H.; KNIGHT, R.L. **Treatment wetlands** London: Magazine of International Water Association, 1996. 893p.

LEMES, M.J.L. **Avaliação de metais e elementos-traço em águas e sedimentos das bacias hidrográficas dos rios Mogi-Guaçu e Pardo, São Paulo**. 2001. 248p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Nuclear) - Universidade Federal de São Paulo.

LESER, W.S.; BARBOSA, V.; BARUZZI, R.G.; RIBEIRO, M.D.B.; FRANCO, L.J. **Elementos de epidemiologia geral**. São Paulo: Atheneu, 1985.

LOPES, V.C.; LIBIANO, M. Proposição de um índice de qualidade de estações de tratamento de água (IQETA). **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v.10, n.4, p. 1-11, 2005.

MALAVOLTA, E. **Fertilizantes e seu impacto ambiental: micronutrientes e metais pesados, mitos, mistificação e fatos**. São Paulo: Petroquímica, 1994. 153p.

McBRIDE, M.B. **Environmental chemistry of soils**. New York: Oxford University, 1994. 406p.

MEYBECK, M.; HELMER, R. An introduction to water quality. In: CHAPMAN, D. **Water quality assessment**. Cambridge: Cambridge University, 1992. 585p.

MINAS GERAIS. Assembléia Legislativa do Estado de Minas Gerais. **Municípios mineiros** Disponível em: <www.almg.gov.br>. Acesso em: 21 jan. 2008.

MOREIRA, F.R.; MOREIRA, J.C. A importância da análise de especiação do chumbo em plasma para a avaliação dos riscos à saúde. **Química Nova**, v.27, n.2, p.251-260 mar./abr. 2004.

OLIVEIRA, E. **Curso de espectrometria de emissão atômica: ICP-AES**. São Paulo: USP/IQ, 1998. Apostila de Pós-Graduação.

PIERZYNSKI, G.M.; SIMS, J.T.; VANCE, G.F. **Soils and environmental quality**. Boca Raton: Lewis, 1994. 313p.

PIRES, M.A.F. **Aplicação da cromatografia de íons no controle de materiais de interesse nuclear**. 1989. Tese (Doutorado em Química) – IPEN, São Paulo.

PORTO, R.L.L.; BRANCO, S.M.; CLEARY, R.W.; COIMBRA, R.M.; EIGER, S.; LUCA, S.J.; NOGUEIRA, V.P.Q.; PORTO, M.F.A. **Hidrologia ambiental**. 3.ed. São Paulo: Edusp, 1991. 414p.

QUINÁGLIA, G.A. **Estabelecimento de um protocolo analítico de preparação de amostras de solo para determinação de metais e sua aplicação em um estudo de caso**. 2001. 164p. Dissertação (Mestrado em Saúde Pública) – Universidade de São Paulo. Faculdade de Saúde Pública, São Paulo.

REBOUÇAS, A.C. Água doce no mundo e no Brasil. In: REBOUÇAS, A.C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J.G. (Coord.). **Águas doces no Brasil capital ecológico, uso e conservação**. São Paulo: Escrituras, 1999.

SILVA, E. R. **O curso da água na história: simbologia, moralidade e a gestão de recursos hídricos**. 1998. 201p. Tese (Doutorado em Saúde Pública) - Fundação Oswaldo Cruz. Escola Nacional de Saúde Pública, Rio de Janeiro.

SKOOG, D.A.; HOLLER, F.J.; NIEMAN, T.A. **Principles of instrumental analysis**. 5.ed. Philadelphia: Saunders College, 1998. A1-A20.

SMITH, L.A.; MEANS, J.L.; CHEN, A.; ALLEMAN, B.; CHAPMAN, C.C.; TIXIER, J.S.; Jr., BRAUNING, S.E.; GAVASKAR, A.R.; ROYER, M.D. **Remedial options for metals-contaminated sites**. New York: CRC, 1995. p.17-33.

SPARKS, D.L. **Environmental soil chemistry**. San Diego: Academic, 1995. 267p.

SPERLING, M.V. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 2.ed. Belo Horizonte: SEGRAC, 1996. 243p.

STANDARD methods for the examination of water and wastewater. 17.ed. Washington: APHA/AWWA/WPCF, 1985.

TAVARES, T.M. **Avaliação de efeitos das emissões de Cádmi e Chumbo em Santo Amaro da Purificação – BA**. 1990. 271 p. Tese (Doutorado em Química) –Universidade de São Paulo. Instituto de Química, São Paulo.

TELLES, P.C.S. **História da engenharia no Brasil (Séculos XIV à XIX)**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1984. v.1.

TOREM, M.L.; CUNHA, F.O.; CASQUEIRA, R.G. Remoção de metais tóxicos e pesados por eletroflotação. **Saneamento Ambiental**, São Paulo, p.46-61, n.85, mar./abr. 2002.

UNITED STATES PUBLIC HEALTH SERVICE. **Toxicological profile for cadmium on CD-ROM**. Atlanta: Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 1997.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Lead-** environmental aspects. Geneva, 1995. (Environmental Health Criteria, 85).

ZULIANE, D.Q. **Identificação de áreas contaminadas com elementos – traço na bacia do Rio das Mortes – MG**. 2006. 101p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.