

Qualidade microbiológica e química das águas de consumo humano do distrito de Bragança

ANTÓNIO NOGUEIRA
MANUELA CARDOSO
IVONNE DELGADILLO
ADELAIDE ALMEIDA

Foi avaliada a qualidade microbiológica e química da água de consumo humano do Distrito de Bragança e relacionada a variação do teor de microrganismos na água com as características químicas dessa água.

A qualidade microbiológica das águas de consumo humano do Distrito de Bragança foi avaliada entre 1996 e 2005. A classificação das águas de consumo humano analisadas neste período baseou-se no Decreto-Lei n.º 74/1990, de 7 de Março, que foi revogado pelo Decreto-Lei n.º 236/1998 de 1 de Agosto, não se tendo verificado alterações nos parâmetros estudados. A partir de 2004, a classificação das águas seguiu o Decreto-Lei n.º 243/2001, de 5 de Setembro. Das análises microbiológicas realizadas (21630 análises), 8225 (38,03%) foram classificadas como impróprias, 7169 (33,14%) como potáveis, 2056 (9,51%) como superior ao valor máximo recomendável, 2770 (12,81%) como conformes e 1410 (6,52%) como não conformes. De todas as análises microbiológicas realizadas, 10490 (48,5%) foram a

águas tratadas e 11140 (51,5%) a águas não tratadas. Do total das tratadas, 7782 (74,2%) foram classificadas como conformes e 2708 (25,8%) como não conformes. Das águas não tratadas, 4213 (37,8%) foram classificadas como conformes e 6927 (62,2%) como não conformes. Apenas em três dos doze concelhos estudados, Mogadouro, Macedo de Cavaleiros e Alfândega da Fé, foi verificado uma percentagem de águas em não conformidade acima dos 50%. O Concelho de Mogadouro foi o que apresentou as águas de consumo humano com pior qualidade microbiológica (62,3% do total das águas analisadas foram consideradas impróprias para consumo). O Concelho de Freixo de Espada à Cinta foi o que apresentou o maior número de águas em conformidade (73,5% das águas foram consideradas conformes).

A qualidade química das águas de consumo foi avaliada entre 2003 e 2005. Do total de amostras analisadas (2692), 2549 (cerca de 95%) foram classificadas de acordo com o Decreto-Lei n.º 243/2001 e apenas 143 segundo o Decreto-Lei n.º 236/1998. Dezanove (0,7%) águas foram classificadas como impróprias, 1841 (68,4%) como potáveis, 518 (19,2%) como água agressiva para as canalizações e 314 (11,7%) como valor superior ao Valor Paramétrico. Do total das análises, 1832 (68,1%) foram efectuadas a águas tratadas e 860 (31,9%) a águas não tratadas.

Os contaminantes indesejáveis também só foram detectados entre 2003 e 2005. Neste período foram realizadas 278 análises. A concentração de cádmio, chumbo, cianetos e trialomitanos nunca ultrapassaram o Valor Paramétrico. O alumínio e o arsénio ultrapassaram o Valor Paramétrico em 58% e 23% das amostras analisadas, respectivamente. Das variáveis químicas estudadas, o pH, os nitratos e o



António Nogueira é Professor Assistente do 1.º Triénio da Escola Superior de Saúde do Instituto Politécnico de Bragança.

Manuela Cardoso é Coordenadora dos Laboratórios de Saúde Pública do Norte.

Ivonne Delgadillo é Professora Associada com Agregação do Departamento de Química, Universidade de Aveiro.

Adelaide Almeida é Professora Auxiliar do Departamento de Biologia, Universidade de Aveiro.

Submetido à apreciação: 15 de Fevereiro de 2008

Aceite para publicação: 22 de Dezembro de 2008

flúor foram as que mais se correlacionaram ($p < 0,05$) com os parâmetros microbiológicos. Não foi possível, no entanto, avaliar que percentagem de variação dos parâmetros microbiológicos é que foi explicada por estas variáveis químicas, através da regressão linear tipo *stepwise*.

Embora a qualidade microbiológica das águas de consumo do Distrito de Bragança tenha melhorado ao longo do período de estudo, particularmente nos últimos dois anos, cerca de 45% das águas analisadas não apresentavam boa qualidade microbiológica. Verificou-se que o tratamento destas águas não foi totalmente eficaz, pois a percentagem de águas de consumo impróprias após tratamento foi muito elevada (25%). Qualquer água tratada deveria obrigatoriamente ser potável, pois caso contrário, o tratamento não obedeceu aos métodos e processos técnicos adequados.

Palavras-chave: qualidade da água; indicadores de contaminação fecal; contaminantes químicos; água de consumo humano; distrito de Bragança.

1. Introdução

A água constitui um recurso essencial à vida, é um factor indispensável à sobrevivência de todos os seres vivos (Mendes e Oliveira, 2004; WHO, 2004a). A água de consumo humano segura é definida pela Organização Mundial de Saúde (OMS) como a água que durante o seu consumo não representa nenhum risco significativo para a saúde (WHO, 2004a). A persistência e o desenvolvimento de microrganismos nas águas são afectados por uma variedade complexa de factores físicos, químicos e biológicos (Anderson, Whitlock e Harwood, 2005). Deste modo, é importante avaliar sistematicamente as condições ambientais nas áreas de captação e a sua acção na contaminação microbiológica (Kistemann *et al.*, 2002; Hughes, 2003; WHO, 2004a).

As doenças relacionadas com a contaminação da água de consumo humano constituem uma elevada responsabilidade e importância para a Saúde Pública (Mendes e Oliveira, 2004; WHO, 2004a; Hellard *et al.*, 2001). Os governos de todo o mundo devem procurar estabilizar regulamentos para permitir uma boa qualidade da água e assim diminuir as doenças associadas ao consumo de água (Hellard *et al.*, 2001; WHO, 2004a). Em países em desenvolvimento, as doenças diarreicas e gastrointestinais agudas transmitidas por água contaminada continuam a ser um sério problema (American Chemistry Council. Chlorine Chemistry Council, 1997; Hellard *et al.*, 2001; Strauss *et al.*, 2001; Amaral *et al.*, 2003; Nogueira *et al.*, 2003; Mendes e Oliveira, 2004; Chiller *et al.*, 2006).

Um dos grandes problemas associados à má qualidade da água de consumo é a falta de saneamento

básico (Mendes e Oliveira, 2004; U. S. Geological Survey, 2005). Nas zonas rurais como em muitos locais do distrito de Bragança, não existe um sistema de esgotos, o que pode levar à contaminação das águas, sendo necessário proceder à sua desinfecção (WHO, 2004a; U. S. Geological Survey, 2005). A desinfecção da água com cloro tem uma importância inquestionável no abastecimento da água de consumo segura (WHO, 2004a). Contudo, a desinfecção da água com cloro pode levar à formação de Produtos Resultantes da Desinfecção (PRD) como os Trihalometanos (THM), que podem causar riscos para a saúde (American Chemistry Council. Chlorine Chemistry Council, 1997; Nieuwenhuijsen *et al.*, 1999; Tominaga e Midio, 1999; American Public Health Association, 2001; Bove, Shim e Zeitz, 2002; Woo *et al.*, 2002; Mendes e Oliveira, 2004; WHO, 2004a; WHO, 2004b). Estes riscos, no entanto, são extremamente baixos em comparação com os riscos associados a uma desinfecção inadequada (American Chemistry Council. Chlorine Chemistry Council, 1997; Nieuwenhuijsen *et al.*, 1999 Tominaga e Midio, 1999; Woo *et al.*, 2002; WHO, 2004a). A desinfecção da água quando realizada adequadamente deve ser utilizada como uma ferramenta primária na protecção da Saúde Pública em todo o mundo (WHO, 2004a; Chiller *et al.*, 2006).

Actualmente os maiores riscos microbiológicos associados com a ingestão de água devem-se a contaminantes com origem em fezes humanas ou animais (Chao, Chao e Chao, 2003; Mendes e Oliveira, 2004; WHO, 2004a). As bactérias indicadoras de contaminação fecal, que residem no intestino humano ou animal, são usadas em todo o mundo para avaliar a qualidade microbiológica das águas de consumo humano (Barrel, Hunter e Nichols, 2000; Anderson, Whitlock e Harwood, 2005). O grupo de bactérias usadas como indicadores de poluição fecal pertencem ao grupo dos coliformes, *Escherichia coli*, *Clostridium perfringens* e enterococos fecais (Ashbolt, Grabow e Snozzi, 2001; Amaral *et al.*, 2003; Barrel, Hunter e Nichols, 2000). Os microrganismos indicadores de poluição fecal são fáceis de detectar, a sua análise é rápida e com menos riscos para o analista (Mendes e Oliveira, 2004; WHO, 2004a).

A água é um excelente solvente e pode conter diversas substâncias químicas dissolvidas (U. S. Geological Survey, 2005). Assim, a maioria das águas naturais destinadas ao consumo humano têm muitos compostos químicos, no entanto, a presença destes compostos nas águas nem sempre corresponde a poluição. Os efeitos causados pelos contaminantes químicos presentes na água de consumo dependem principalmente das quantidades ingeridas, do tempo de exposição e da sensibilidade e fisiologia do indi-

víduo (Mendes e Oliveira, 2004). Existem, no entanto, alguns contaminantes químicos que podem levar ao aparecimento de cancro e mutações, como por exemplo o arsénio. Estes efeitos podem levar, no entanto, muito tempo a manifestar-se (Mendes e Oliveira, 2004; WHO, 2004a; WHO, 2004b).

2. Matérias e métodos

2.1. Descrição do local de amostragem e período de amostragem

O distrito de Bragança está dividido em doze concelhos: Alfândega da Fé, Bragança, Carrazeda de Ansiães, Freixo de Espada à Cinta, Macedo de Cavaleiros, Miranda do Douro, Mirandela, Mogadouro, Torre de Moncorvo, Vila Flor, Vimioso e Vinhais. No distrito de Bragança o tratamento das águas de consumo do sistema público de abastecimento varia dentro do próprio concelho. Nas sedes de concelho do distrito de Bragança a rede pública é abastecida por água tratada em Estações de Tratamento de Águas. Nas zonas rurais do distrito a água de consumo é apenas desinfectada com cloro. Nestas zonas rurais uma mesma rede é abastecida por águas de várias origens, principalmente quando há escassez de água, devido à diminuição dos caudais ou devido ao aumento do consumo.

Neste estudo foram analisados os resultados das análises de águas de consumo humano do distrito de Bragança. As análises foram realizadas no Laboratório de Saúde Pública de Bragança (LSPB). Os Laboratórios de Saúde Pública em Portugal, caso do LSPB, tem como função vigiar a qualidade das águas da rede pública de abastecimento. Os estudos de monitorização da qualidade destas águas são, no entanto, da responsabilidade da autarquia e a qualidade da água que abastece as redes públicas é da responsabilidade das empresas de abastecimento. Os dados microbiológicos analisados no LSPB referem-se ao período de 1996 a 2005 (21 630 amostras), os resultados das análises químicas ao período de 2003 a 2005 (2692 amostras) e os resultados das análises a contaminantes indesejáveis ao período de 2003 a 2005 (278 amostras). Os dados foram inicialmente introduzidos e organizados numa base de dados utilizando o Microsoft Excel e foram tratados estatisticamente com o programa *Statistical Package for the Social Sciences* (SPSS) SmartViewer 13.0. Durante o período de estudo deste trabalho houve algumas interrupções nas análises microbiológicas das águas de consumo. Por isso, não há dados microbiológicos nas seguintes datas: entre Janeiro e Março de 1997, entre Agosto e Dezembro de 1997, no mês de Janeiro

de 1998, entre Janeiro e Abril de 1999 e entre Março e Abril de 2000.

2.2. Parâmetros estudados

Os parâmetros microbiológicos e químicos analisados e estudados neste trabalho basearam-se na legislação em vigor. Os parâmetros microbiológicos analisados foram coliformes totais e fecais, enterococos fecais, esporos de clostrídios sulfitorreductores, *C. perfringens*, *E. coli* e germes totais a 37°C e 22°C. Os parâmetros químicos analisados foram o pH, a condutividade, os cloretos, os sulfatos, os nitratos, o ferro e o flúor. Os contaminantes indesejáveis analisados foram o alumínio, o arsénio, o cádmio, os cianetos, o chumbo e os THM. Para avaliar a qualidade microbiológica e química das águas de consumo humano foram usados os métodos de referência indicados na legislação em vigor na data de análise (Decreto-Lei n.º 74/1990; Decreto-Lei n.º 236/1998; Decreto-Lei n.º 243/2001).

2.3. Descrição da legislação utilizada para classificação das águas durante o período de estudo

A classificação microbiológica das águas de consumo humano analisadas no período de estudo baseou-se no Decreto-Lei n.º 74/1990, de 7 de Março, o qual foi revogado pelo Decreto-Lei n.º 236/1998, de 1 de Agosto, não se tendo verificado, no entanto alterações nos parâmetros estudados. A partir do início de 2004 (no LSPB só a partir de 24 de Maio de 2004), com a entrada em vigor do Decreto-Lei n.º 243/2001, de 5 de Setembro, os termos «potável», «imprópria» e «Superior ao Valor Máximo Recomendado» (> VMR), relativos à classificação microbiológica, foram revogados pelas designações «conforme» e «não conforme». O termo «potável» é utilizado quando todos os valores são inferiores ao Valor Máximo Recomendável (VMR) e ao Valor Máximo Admissível (VMA). O termo «imprópria» utiliza-se quando pelo menos um valor é superior ao VMA. O termo «Superior ao Valor Máximo Recomendado» ou «> VMR» utiliza-se quando nenhum valor é superior ao VMA, mas o número de germes totais, a 22°C e 37°C ultrapassa o VMR. A designação «conforme» é utilizada quando nenhum valor é superior ao Valor Paramétrico. A designação «não conforme» é utilizada quando pelo menos um valor é superior ao Valor Paramétrico (Decreto-Lei n.º 74/1990; Decreto-Lei n.º 236/1998; Decreto-Lei n.º 243/2001).

A classificação química das águas de consumo humano analisadas no ano de 2003 baseou-se no Decreto-Lei n.º 236/1998, de 1 de Agosto, sendo as águas classificadas como «imprópria» (pelo menos um valor superior ao VMA), «potável» (todos os valores inferiores ao VMA) e «Água agressiva para as Canalizações» (Aa pC). A partir do início de 2004, após a entrada em vigor do Decreto-Lei n.º 243/2001, de 5 de Setembro, o termo «imprópria» foi substituído pelo termo «Valor Superior ao Valor Paramétrico» (VS VP — pelo menos um valor superior ao Valor Paramétrico), mantendo os termos «potável» (todos os valores inferiores ao Valor Paramétrico) e «Aa pC» (este termo é aplicado quando a água tem um pH inferior a 6,5, para as duas legislações) (Decreto-Lei n.º 236/1998; Decreto-Lei n.º 243/2001).

Na avaliação das águas relativamente à presença de contaminantes indesejáveis foi usado o Decreto-Lei n.º 236/1998, de 1 de Agosto para os dados de 2003. A partir do início de 2004, passou a usar-se como referência o Decreto-Lei n.º 243/2001, de 5 de Setembro. Após a entrada em vigor do Decreto-Lei n.º 243/2001, foram revogados os termos VMR e VMA, mantendo-se os valores de VMA como Valores Paramétricos, com a excepção do arsénio (passou de um valor de VMA de 50 µg/l para um Valor Paramétrico de 10 µg/l) e do chumbo (passou de um valor de VMA de 50 µg/l para um Valor Paramétrico de 25 µg/l) (Decreto-Lei n.º 236/1998; Decreto-Lei n.º 243/2001).

A designação «VMA» ou «Valor Máximo Admissível» significa valor de norma de qualidade que não deverá ser ultrapassado. A designação «VMR» ou «Valor Máximo Recomendado» significa valor de norma de qualidade que, de preferência, deve ser respeitado ou não excedido (Decreto-Lei n.º 74/1990; Decreto-Lei n.º 236/1998). O termo «Valor Paramétrico» significa o valor especificado ou uma concentração máxima ou mínima para uma propriedade, elemento, organismo ou substância (Decreto-Lei n.º 243/2001).

O Decreto-Lei n.º 243/01 introduziu algumas alterações importantes no controlo microbiológico das águas de consumo em relação aos Decretos-Lei n.ºs 74/90 e 236/98, ao substituir a determinação dos coliformes fecais pela determinação da *E. coli*, e também ao substituir a determinação de esporos de clostrídios sulfitorreductores pela determinação de *C. perfringens* (incluindo esporos). Com esta nova legislação também se deixou de realizar a contagem de germes totais a 22°C e 37°C. Os métodos de referência a utilizar para detectar os diferentes grupos de microrganismos com a entrada em vigor do Decreto-Lei n.º 243/2001 são os métodos de filtração através

de membranas, em substituição da técnica do NMP. Este Decreto-Lei n.º 243/01 também introduziu algumas alterações em relação à definição dos pontos de amostragem e à frequência das colheitas de águas (Decreto-Lei n.º 243/2001).

2.4. Análise estatística

As médias e os desvios padrão dos teores de microrganismos, das concentrações dos parâmetros químicos e contaminantes indesejáveis foram determinados através do Microsoft Excel e do SPSS SmartViewer 13.0. Para as restantes análises estatísticas foi sempre utilizado o SPSS SmartViewer 13.0. Foram usadas tabelas de contingência para avaliar a relação entre as águas tratadas e não tratadas e a classificação dessas águas. Foi utilizada a representação gráfica de «diagramas de extremos e quartis» para descrever os diferentes parâmetros microbiológicos, químicos e contaminantes indesejáveis. De uma forma geral, estes tipos de gráficos incluem a mediana, o 1.º e o 3.º quartil, os valores mínimos e máximos e eventuais *outliers* e extremos. A Correlação de Kendall's *tau-b* foi usada para estimar a magnitude da correlação entre os parâmetros químicos e microbiológicos. Para explicar a variação dos parâmetros microbiológicos foi utilizada a regressão linear tipo *stepwise* (Maroco, 2003). A regressão linear só foi aplicada aos dados de 2003 a 2005 porque apenas existem resultados de parâmetros químicos no LSPB a partir de 2003. Foram usadas como variáveis independentes o pH, a condutividade, os cloretos, os sulfatos, os nitratos, o ferro e o flúor. Antes de aplicar a regressão linear aos dados microbiológicos e químicos foram eliminados os registos com valores de zero. Os dados foram depois transformados em log₁₀ e testados para a normalidade com o teste Kolmogorov-Smirnov e para homogeneidade das variâncias com o teste de Levene (Pereira, 2002; Maroco, 2003).

3. Resultados

3.1. Classificação microbiológica das águas de consumo humano do distrito de Bragança segundo a legislação em vigor

Das análises microbiológicas realizadas a águas de consumo humano do distrito de Bragança, 8225 (38,03%) foram classificadas como impróprias, 7169 (33,14%) como potáveis, 2056 (9,51%) como > VMR, 2770 (12,81%) como conformes e 1410 (6,52%) como não conformes, no período de 1996 a 2005. Uma vez que os dados recolhidos para este

estudo abrangeram o período de 1996 a 2005, foram usados os cinco tipos de classificação para avaliar a qualidade da água. De acordo com a nova legislação, as águas potáveis e >VMR foram consideradas como «conformes» e as impróprias como «não conformes», pelo que para o período de estudo entre 1996 e 2005 as águas conformes representariam 55,45% (11995) e as águas não conformes representariam 44,55% (9635). Das análises microbiológicas realizadas, 10490 (48,5%) foram efectuadas a águas tratadas e 11140 (51,5%) a águas não tratadas. Do total das tratadas, 7782 (74,2%) foram classificadas como conformes e 2708 (25,8%) como não conformes. Das águas não tratadas, 4213 (37,8%) foram classificadas como conformes e 6927 (62,2%) como não conformes (Tabela I).

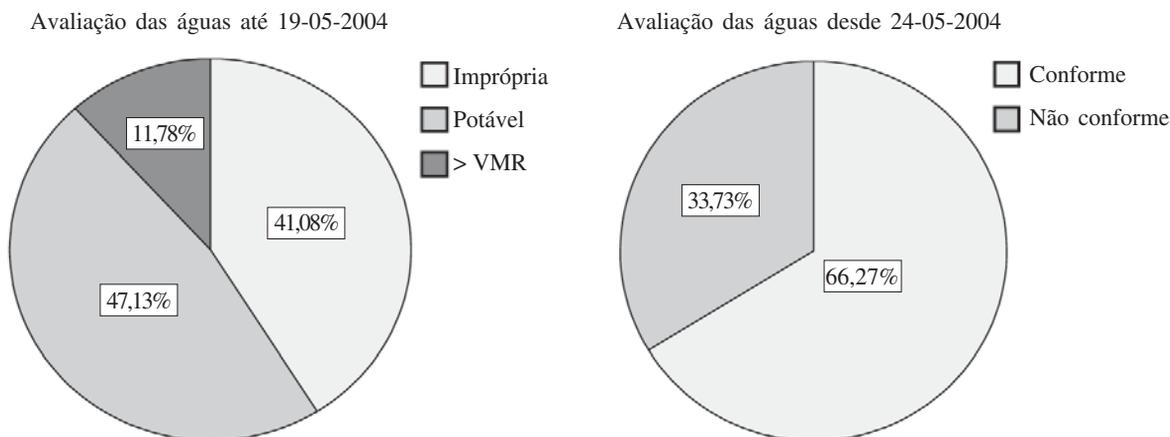
Analisando os dados em separado (antes e depois da entrada em vigor do Decreto-Lei n.º 243/2001), veri-

fica-se que até 19 de Maio de 2004, 7169 (41,08%) águas foram classificadas como potáveis, 8225 (47,13%) como impróprias e 2056 (11,78%) como >VMR, ou seja quase metade das águas foram classificadas como impróprias. A partir de 24 de Maio de 2004, após a entrada em vigor do Decreto-Lei n.º 243/2001 observou-se que 2770 (66,27%) das águas foram classificadas como conformes e 1410 (33,73%) como não conformes (Figura 1). Dos grupos de microrganismos estudados, o teor de germes totais a 37°C foi o que mais vezes ultrapassou o VMR (10 UFC/ml). Cerca de 46,7% das amostras de água analisadas ultrapassaram o VMR. Dos indicadores de poluição fecal, o teor de coliformes totais foi o parâmetro que mais vezes ultrapassou o Valor Paramétrico (0 UFC/ml). Foram detectados coliformes em 35% das amostras de água analisadas. O parâmetro que menos vezes ultrapassou o Valor

Tabela I
Classificação microbiológica das águas de consumo humano do distrito de Bragança, entre 1996 e 2005, segundo o Decreto-Lei n.º 243/2001

Classificação			Tipo de água		Total
			Tratada	Não tratada	
Conforme	N.º de amostras		7782	4213	11 995/55,45%
		Tipo de água %	74,2	37,8	
	Não conforme	N.º de amostras	2708	6927	9 635/44,55%
		Tipo de água %	25,8	62,2%	
Total	N.º de amostras	10 490	11 140	21 630	
	Tipo de água %	48,5	51,5	100,0	

Figura 1
Avaliação microbiológica das águas de consumo humano do distrito de Bragança, desde 01-01-1996 até 19-05-2004, segundo os Decretos-Lei n.ºs 74/1990 e 236/1998, e desde 24-05-2004 até 31-12-2005, segundo o Decreto-Lei n.º 243/2001



Paramétrico foi o indicador *C. perfringens* que só em 2% das amostras ultrapassou o limite legislado (Tabela II).

3.2. Avaliação da qualidade microbiológica da água ao longo do período de estudo

De um modo geral a qualidade microbiológica da água de consumo humano, no distrito de Bragança, foi melhorando ao longo do período de estudo. No primeiro ano do período de estudo (1996) verificou-se que 491 (19,3%) das águas analisadas eram tratadas e 2050 (80,7%) não tratadas. Destas águas 49,8% foram classificadas como não conformes e 50,2% como conformes. Nos anos de 1997 e 1998, a percentagem de águas em conformidade foi de cerca de 54%. No ano de 1999, observou-se que 52,2% das águas foram classificadas como não conformes e 47,8% classificadas como conformes. No ano de 2000, verificou-se que 55,2% das águas foram classificadas como não conformes e 44,8% classificadas como conformes. Os anos de 1999 e 2000 foram únicos, percentagem de águas em não conformidade foi superior à percentagem de águas em conformidade. Em 2001, 51,4% das águas foram classificadas como conformes e 48,6% classificadas como não

conformes. No ano de 2002, observou-se que 53% das águas foram classificadas conformes e 47% classificadas como não conformes. No ano de 2003, 55,2% das águas foram classificadas como conformes e 44,8% classificadas como não conformes. Em 2004, 65% das águas foram classificadas como conformes e 35% classificadas como não conformes. No último ano do período de estudo (2005), das águas analisadas 2009 (73,2%) eram tratadas e 736 (26,8%) não tratadas. Do total destas águas 70,2% foram classificadas como conformes e 29,8% como não conformes, neste ano verificou-se uma maior percentagem de águas em conformidade em relação ao primeiro ano de estudo. A percentagem de águas tratadas, ao longo do estudo, e, particularmente, nos três últimos anos foi sempre aumentando em relação à percentagem de águas não tratadas.

O teor dos vários grupos de bactérias ao longo do período de estudo não variou muito. Observou-se, no entanto, que em 1999 e 2000 os teores de bactérias foram mais elevados. Convém referir, contudo, que no ano de 1999, apenas foram analisadas águas no período de Maio a Dezembro. Nos anos de 1996 e 1997, registaram-se os valores mais baixos para as várias variáveis microbiológicas, mas em 1997 apenas foram analisadas 771 amostras de água, no período de Abril a Julho. Durante o período de

Tabela II
Avaliação dos vários parâmetros microbiológicos nas águas de consumo humano do distrito de Bragança, entre 1996 e 2005

Parâmetro	Número de análises	Valor paramétrico b)	VMR a) VMA a)	> Valor paramétrico ou > VMR ou > VMA	< Valor paramétrico ou < VMR ou < VMA
Germes totais a 37°C	17 450	–	10 UFC/ml (VMR)	8144/46,7%	9 306/53,3%
Germes totais a 22°C	16 408	–	100 UFC/ml (VMR)	4555/27,8%	11 853/72,2%
Coliformes totais	21 630	0 UFC/100ml	–	7571/35%	14 059/65%
Coliformes fecais	21 630	0 UFC/100ml	–	5136/23,7%	16 494/76,3%
Enterococos fecais	21 630	0 UFC/100ml	–	5386/24,9%	16 244/75,1%
Esporos clostrídios	17 450	–	< 1/20ml (VMA)	3118/17,9%	14 332/82,1%
<i>C. perfringens</i>	4 180	0 UFC/100ml	–	80/ 1,9%	4 100/98,1%
<i>E. coli</i>	5 366	0 UFC/100ml	–	583/10,9%	4 783/89,1%

a) Segundo os Decretos-Lei n.ºs 74/90 e 236/98.

b) Segundo o Decreto-Lei n.º 243/01.

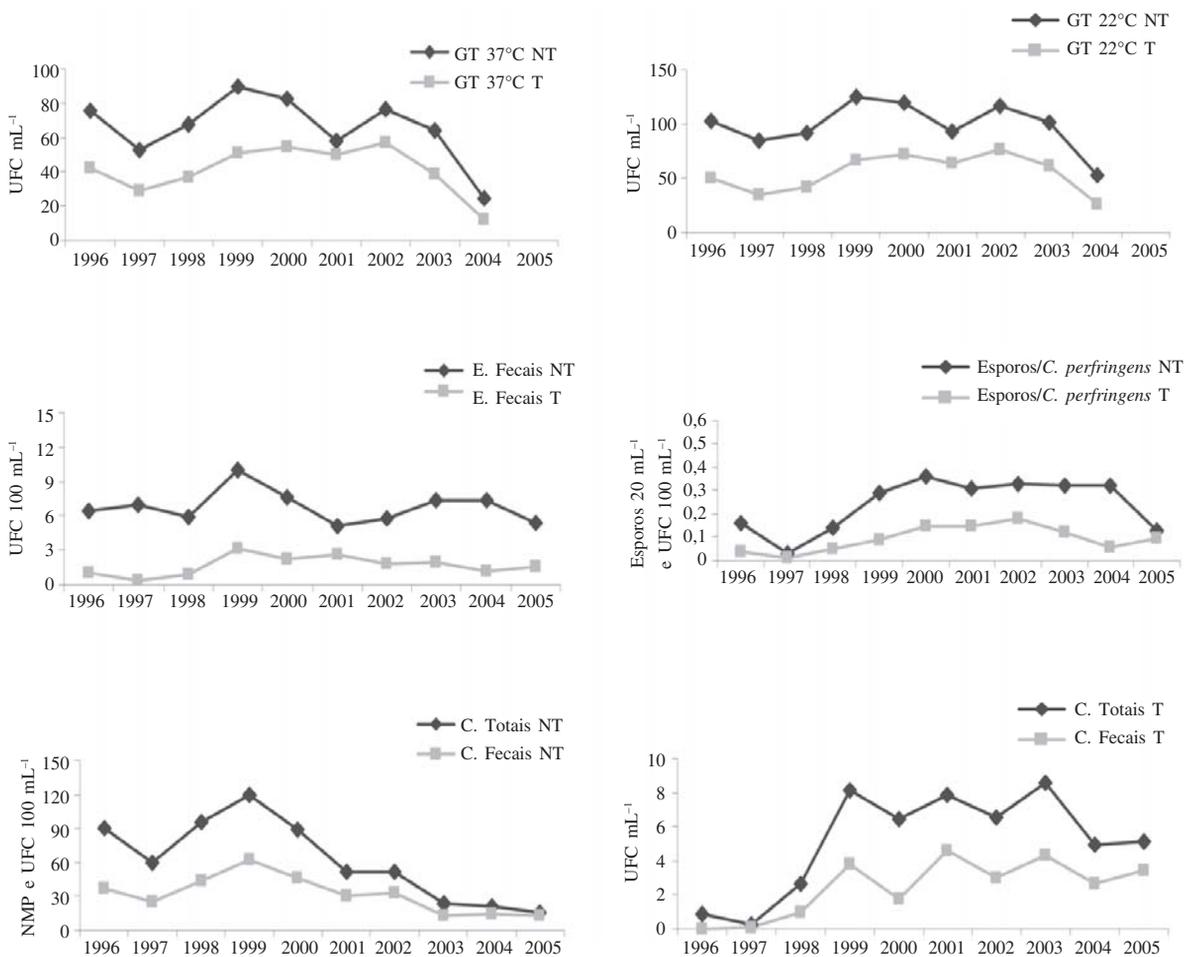
estudo, observou-se que o teor de bactérias foi sempre superior nas águas não tratadas relativamente às águas tratadas, podendo esta diferença ser de 5 vezes. O teor de bactérias coliformes nas águas não tratadas mostrou uma acentuada diminuição nos últimos três anos (2003, 2004 e 2005) (*Figura 2*). Esta diminuição parece estar associada à mudança da técnica de detecção. Nos últimos 3 anos do estudo, o teor de bactérias coliformes, nas águas não tratadas, foi determinado pela técnica de filtração através de membranas. Até 2002 o teor de coliformes foi determinado pela técnica de fermentação em tubos múltiplos. A variação sazonal dos teores de microrganismos

durante o período de estudo foi diferente. Nos primeiros anos (1996-1999) observou-se um pico dos teores nos meses de verão. Em 2000 foi observado um pico acentuado no Inverno. Nos anos seguintes (2001-2005) o padrão de variação foi ainda mais irregular.

3.3. Avaliação da qualidade microbiológica da água por concelho

De acordo com o Decreto-Lei n.º 243/2001 de 5 de Setembro, as águas de consumo humano nos doze

Figura 2
Variação do teor médio dos vários grupos de microrganismos entre 1996 e 2005, os dados até Maio de 2004 referem-se à concentração de esporos de clostrídios sulfitorreductores. A partir de Maio de 2004 à concentração de *C. perfringens* (NT: águas não tratadas e T: águas tratadas)



concelhos do distrito de Bragança foram classificadas em conformes e não conformes. Verificou-se que ao longo do período de estudo o concelho de Bragança foi aquele onde foram efectuadas mais análises (3892) e o de Freixo de Espada à Cinta onde se efectuaram menos análises (279). Apenas em três dos doze concelhos estudados, Mogadouro, Macedo de Cavaleiros e Alfândega da Fé, foi verificado uma percentagem de águas em não conformidade acima dos 50%. O Concelho de Mogadouro foi o que apresentou as águas de consumo humano com pior qualidade. Neste concelho 62,3% do total das águas analisadas foram consideradas impróprias para consumo. Nos concelhos de Macedo de Cavaleiro e Alfândega da Fé, o número total de águas classificadas como não conformes foi 58,7% e 55,2%, respectivamente. O concelho de Freixo de Espada à Cinta foi o que apresentou o maior número de águas em conformidade, 73,5% das águas foram consideradas conformes. Nos concelhos de Carrazeda de Ansiães, Mirandela e Vinhais verificou-se uma percentagem de águas em conformidade acima dos 65%. Considerando os teores médios para os diferentes microrganismos para cada concelho, verifica-se, realmente, que os Concelhos de Mogadouro, Alfândega da Fé e Macedo de Cavaleiros foram os que apresentam concentrações médias mais elevadas para os vários microrganismos e que o Concelho de Freixo de Espada à Cinta e de Carrazeda de Ansiães foram os que apresentam os teores médios mais baixos.

3.4. Classificação química das águas de consumo humano do distrito de Bragança segundo a legislação em vigor

Entre 2003 e 2005 foram analisadas 2692 águas quanto ao pH, a condutividade, os cloretos, os sulfatos, os nitratos, o ferro e o flúor. Destas águas, 2549 (cerca de 95%) foram classificadas de acordo com o Decreto-Lei n.º 243/2001, e apenas 143 águas foram classificadas segundo o Decreto-Lei n.º 236/1998. Com a entrada em vigor do Decreto-Lei n.º 243/2001, foram revogados os termos VMR e VMA, mantendo-se os valores de VMA como Valores Paramétricos (excepto para o pH). Das análises químicas realizadas, 19 (0,7%) águas foram classificadas como impróprias, 1841 (68,4%) como potáveis, 518 (19,2%) como Aa pC e 314 (11,7%) como VS VP. Os resultados mostraram que cerca de 70% das águas analisadas entre 2003 e 2005 foram classificadas como águas potáveis. Durante estes três anos cerca de 20% das águas foram classificadas como Aa pC, o que indica que uma em cada cinco das águas analisadas registou um pH inferior a 6,5. Das análises químicas realizadas, 1832 (68,1%) foram efectuadas a águas tratadas e 860 (31,9%) a águas não tratadas (*Tabela III*). O pH foi medido em 2690 águas, das quais 597 (22,2%) mostraram valores de pH inferior a 6,5; 14 (0,5%) águas valores de pH superior a 9; (até 2004 o VMA para o pH era 9,5; com a entrada em vigor do

Tabela III
Classificação química das águas de consumo humano do distrito de Bragança entre 2003 e 2005

Classificação			Tipo de água		Total
			Tratada	Não tratada	
Águas potáveis	Número de amostras		1349	492	1841-68,4%
	Tipo de água %		73,6	57,2	
Aa pC	Número de amostras		259	259	518-19,2%
	Tipo de água %		14,1	30,1	
VS VP	Número de amostras		210	104	314-11,7%
	Tipo de água %		11,5	12,1	
Águas impróprias	Número de amostras		14	5	19-0,7%
	Tipo de água %		0,8	0,6	
Total	Número de amostras		1832	860	2692
	Tipo de água %		68,1	31,9	

VS VP — Valor superior ao valor paramétrico; Aa pC — Água agressiva para as canalizações.

Decreto-Lei n.º 243/2001 o Valor Paramétrico é 9) e 2079 (77,3%) águas valores de pH entre 6,5 e 9. Para a condutividade foram realizadas 2690 análises e o Valor Paramétrico (2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 20°C), nunca foi ultrapassado. Os cloretos só ultrapassaram o Valor Paramétrico (250 mg/l) em duas amostras de águas. A determinação de sulfatos foi realizada em 2614 águas, verificando-se também que só duas das amostras apresentaram valores superiores ao Valor Paramétrico (250 mg/l). Os nitratos foram determinados em 2689 águas, o Valor Paramétrico (50 mg/l) foi ultrapassado em 21 (0,8%) amostras de água. O flúor, determinado em 2679 amostras de água, ultrapassou o Valor Paramétrico (1500 $\mu\text{g}/\text{l}$) em 15 (0,6%) amostras de água. O ferro, determinado em 2692 águas, ultrapassou o Valor Paramétrico (200 $\mu\text{g}/\text{l}$) em 302 (11,2%) amostras de água. O ferro foi o parâmetro químico que mais frequentemente ultrapassou o Valor Paramétrico (200 $\mu\text{g}/\text{l}$) (Tabela IV). Em 46 amostras das 302 que ultrapassaram o Valor Paramétrico do ferro apresentaram valores de pH inferiores a 6,5. A análise de regressão linear não mostrou, no entanto, uma relação entre estas duas variáveis (R^2 de 9,1%). Convém referir, contudo, que os valores das amostras não apresentaram distribuição normal (teste Kolmogorov-Smirnov) nem homogeneidade das variâncias (teste Levene).

3.5. Avaliação dos parâmetros químicos por concelho

Os resultados dos parâmetros químicos estudados nos doze concelhos foram avaliados de acordo com os Valores Paramétricos do Decreto-Lei n.º 243/2001 de 5 de Setembro. Os valores das medianas de pH obtidos para os doze concelhos situaram-se dentro do Valor Paramétrico (Figura 3). Os concelhos de Bra-

gança, Torre de Moncorvo, Vila Flor e Vinhais foram os que apresentaram os valores das medianas mais próximos do limite inferior tolerado (pH 6,5). Os valores de pH, no entanto, não variaram muito entre os diferentes concelhos. Os valores da condutividade da água também não variaram muito de concelho para concelho. O concelho de Miranda do Douro foi o que registou a mediana mais elevada para a condutividade (Figura 3). A concentração de cloretos e de sulfatos variou pouco ao longo do período de estudo nos diferentes concelhos. As medianas e a distribuição das concentrações foram muito parecidas nos diferentes concelhos. O concelho que registou a mediana mais elevada, para os cloretos e para os sulfatos, foi o de Miranda do Douro (Figura 3). Neste concelho um grande número de amostras atingiu valores acima da mediana para os sulfatos. O Valor Paramétrico só foi ultrapassado, tanto para os sulfatos como para os cloretos, em duas amostras de água (Figura 3).

A concentração de nitratos foi mais elevada nos concelhos de Mogadouro, Miranda do Douro, Freixo de Espada à Cinta e Torre de Moncorvo (Figura 3). No concelho de Mogadouro o teor de nitratos ultrapassou muitas vezes (38%) o Valor Paramétrico (50 mg/l). A concentração de flúor foi mais elevada nos concelhos de Freixo de Espada à Cinta e de Vila Flor. O Valor Paramétrico (1500 $\mu\text{g}/\text{l}$) foi ultrapassado em 15 amostras de água, a maior parte das quais foi observada no concelho de Macedo de Cavaleiros, particularmente na freguesia de Burga. As concentrações mais elevadas de ferro foram observadas nos Concelhos de Alfândega da Fé, Freixo de Espada à Cinta, Mirandela, Vila Flor e Vinhais (Figura 3). Nestes concelhos, os valores de ferro ultrapassaram frequentemente os valores da mediana, particularmente no concelho de Vila Flor. A concentração mais elevada de ferro foi determinada numa amostra

Tabela IV
Avaliação dos vários parâmetros químicos nas águas de consumo humano entre 2003 e 2005, segundo o Decreto-Lei n.º 243/2001

Parâmetro	Número de análises	Valor paramétrico	Valores superiores ao valor paramétrico	Valores inferiores ao valor paramétrico
Condutividade	2690	2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 20°C	0-0%	2690-100%
Cloretos	2690	250 mg/l	2-< 0,1%	2688-99,9%
Sulfatos	2614	250 mg/l	2-< 0,1%	2612-99,9%
Nitratos	2689	50 mg/l	21-0,8%	2668-99,2%
Flúor	2679	1500 $\mu\text{g}/\text{l}$	15-0,6%	2664-99,4%
Ferro	2692	200 $\mu\text{g}/\text{l}$	302-11,2%	2390-88,8%

Figura 3
Diagramas de extremos e quartis dos vários parâmetros químicos, nos doze concelhos do distrito de Bragança entre 2003 e 2005

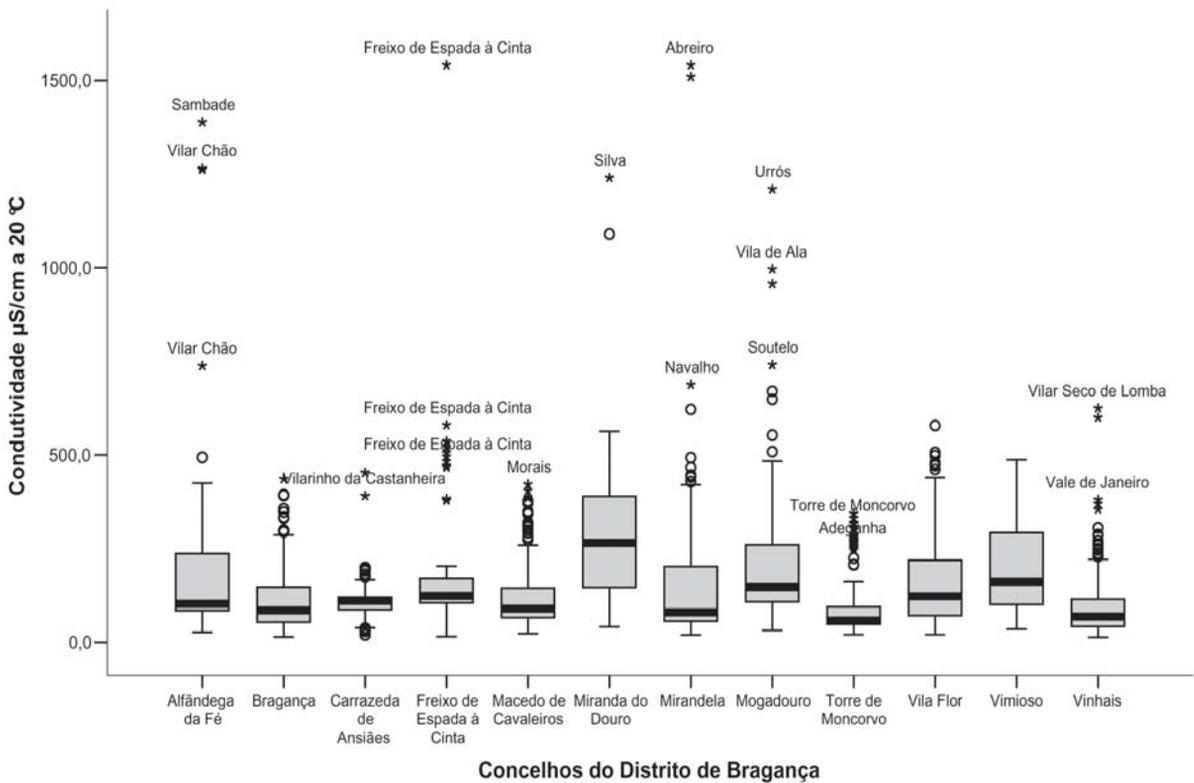
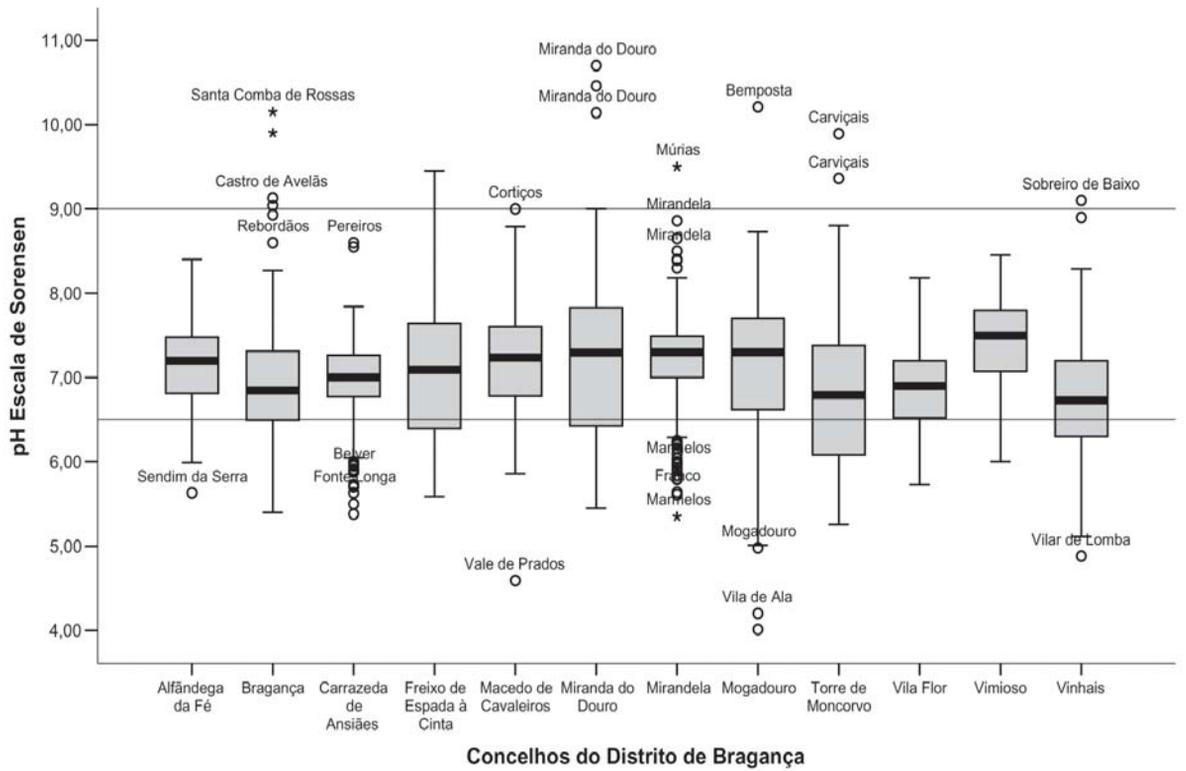


Figura 3 (cont.)

Diagramas de extremos e quartis dos vários parâmetros químicos, nos doze concelhos do distrito de Bragança entre 2003 e 2005

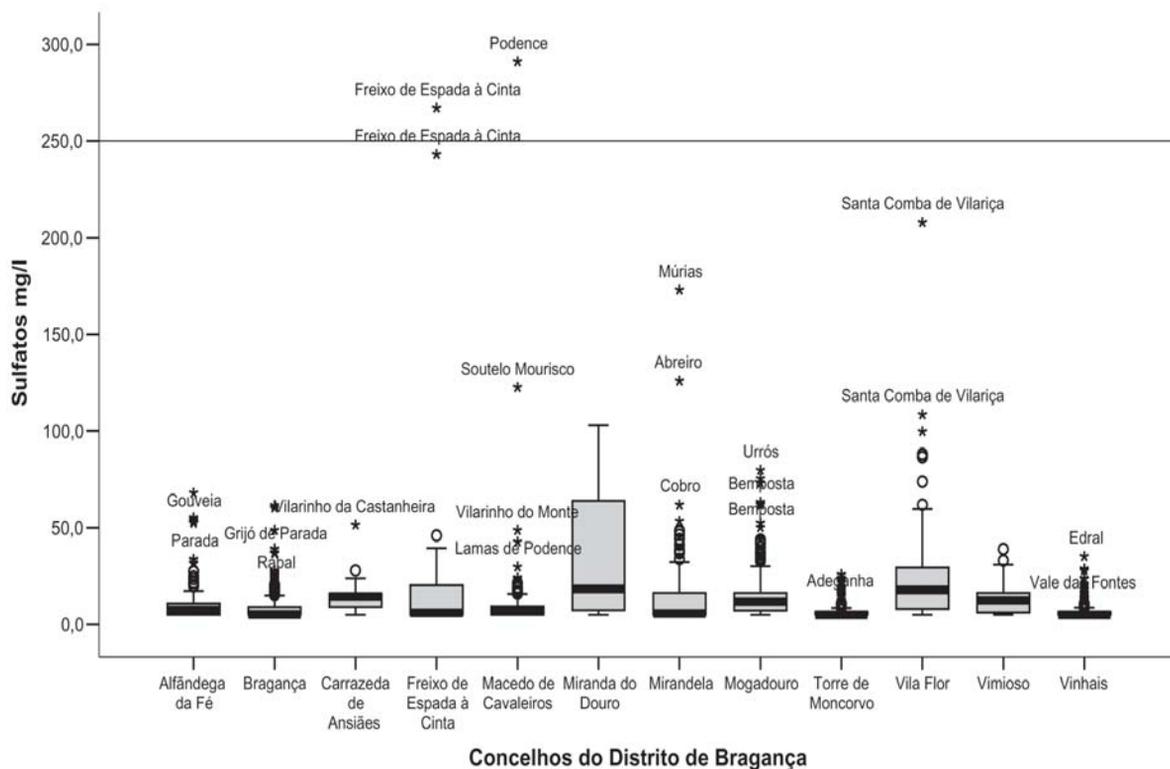
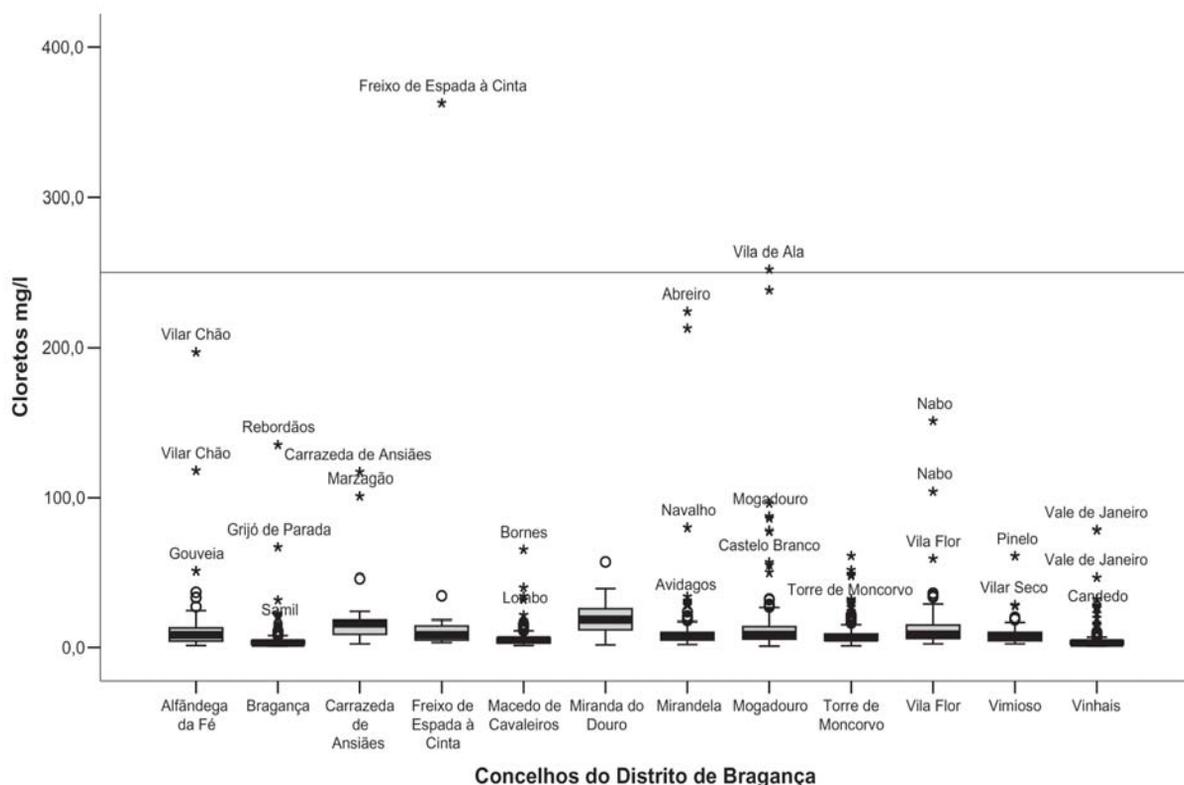


Figura 3 (cont.)

Diagramas de extremos e quartis dos vários parâmetros químicos, nos doze concelhos do distrito de Bragança entre 2003 e 2005

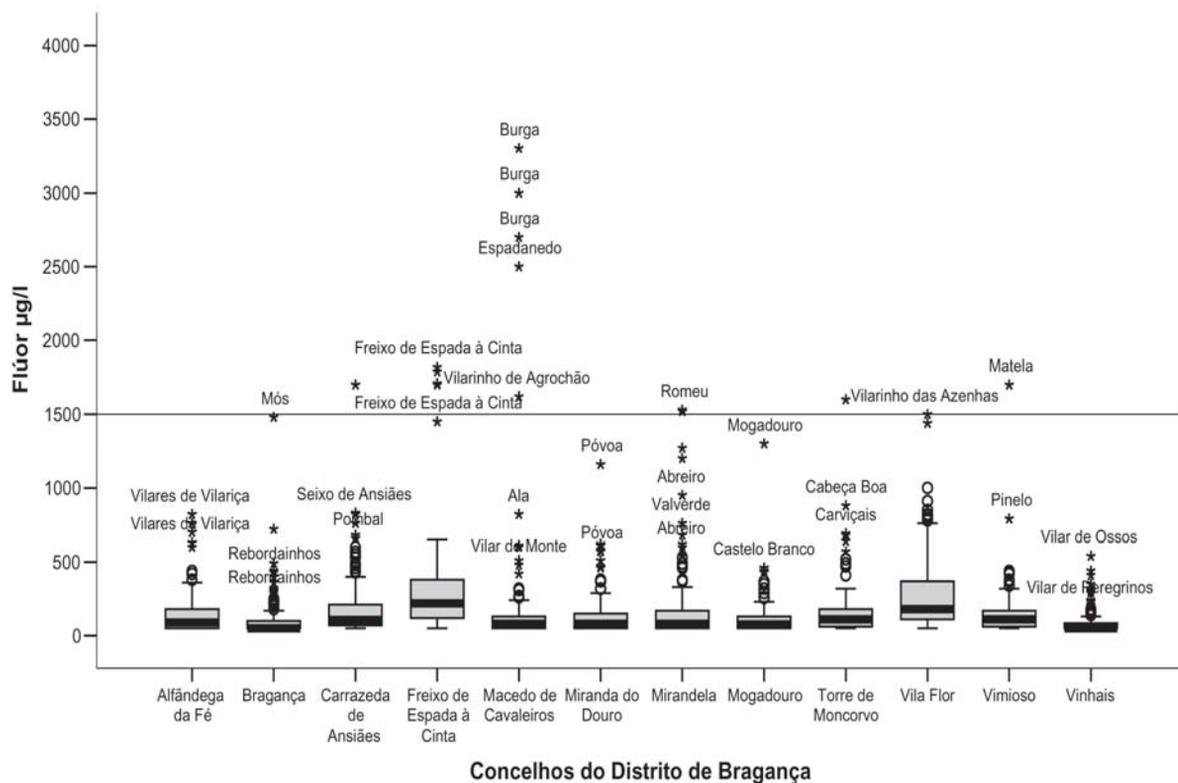
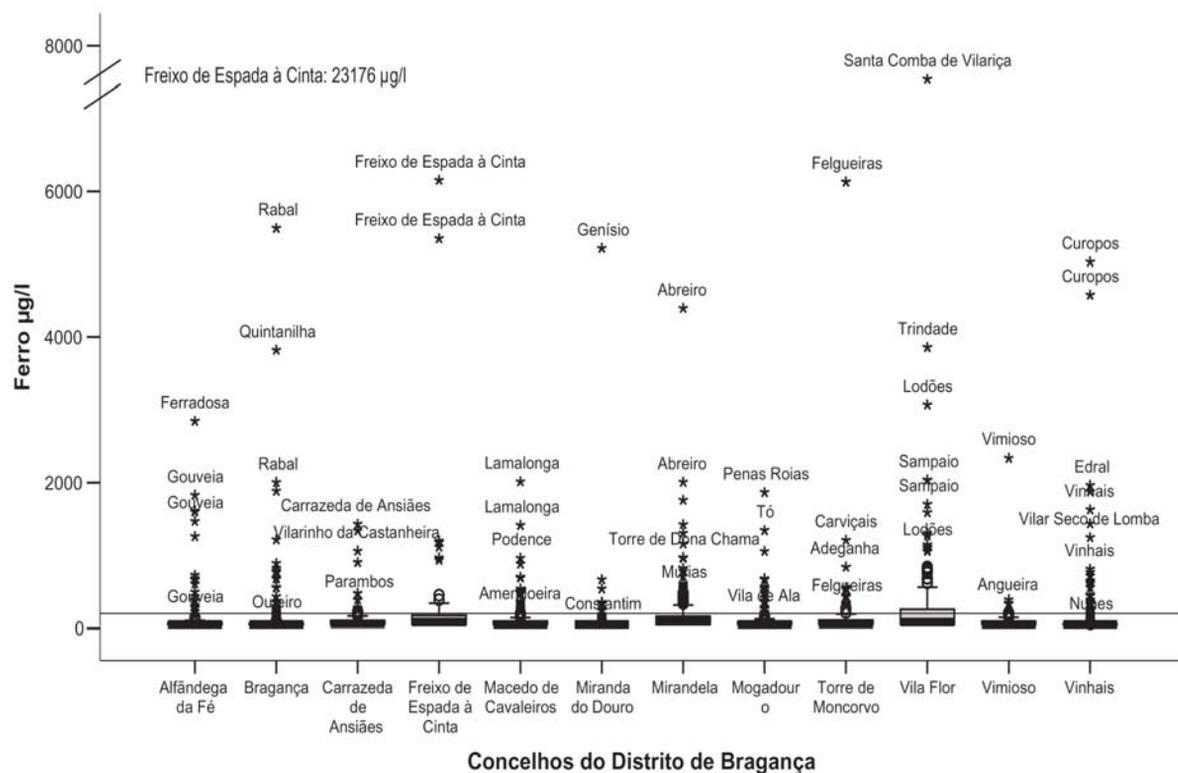
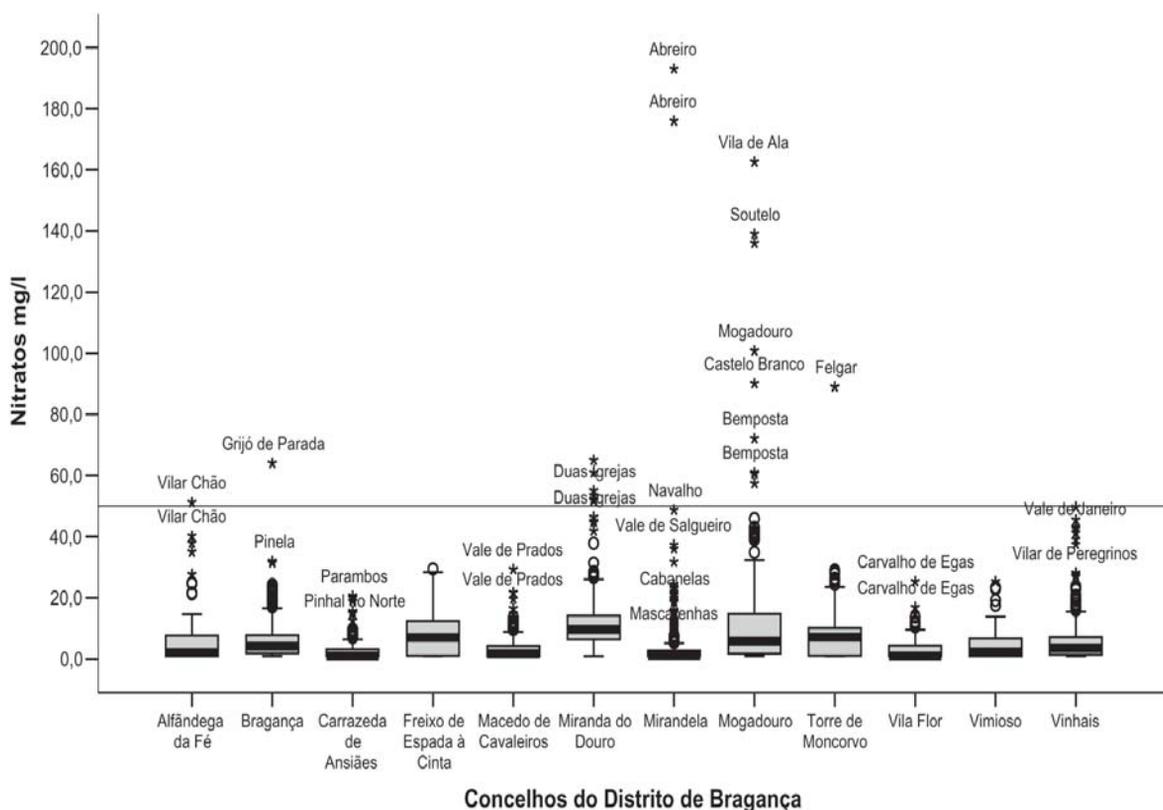


Figura 3 (cont.)

Diagramas de extremos e quartis dos vários parâmetros químicos, nos doze concelhos do distrito de Bragança entre 2003 e 2005



de água no concelho de Freixo de Espada à Cinta com 23 176 $\mu\text{g/l}$ (Figura 3).

3.6. Contaminantes indesejáveis

Entre 2003 e 2005, foram realizadas 278 análises de contaminantes indesejáveis a águas de consumo humano do distrito de Bragança. Os parâmetros indesejáveis analisados foram: o cádmio, o chumbo, os cianetos, os THM, o alumínio e o arsénio. O alumínio e os THM só foram determinados em 2005. Em 2004, só foram realizadas em todo o distrito cinco análises a contaminantes indesejáveis e apenas para o arsénio. As águas de consumo humano analisadas no ano de 2003, para contaminantes indesejáveis, tiveram como referência o Decreto-Lei n.º 236/98, como já foi referido, após a entrada em vigor do Decreto-Lei n.º 243/2001, foram revogados os termos VMR e VMA, mantendo-se para a maioria dos parâmetros estudados os valores de VMA como Valores Paramétricos. O cádmio foi determinado em 185 águas de consumo humano nos anos de 2003 e 2005 (no ano

de 2003 o limite de quantificação estava definido como 5 $\mu\text{g/l}$ e no ano de 2005 o limite passou para 1 $\mu\text{g/l}$). Nas análises efectuadas, nunca se detectou concentrações de cádmio superiores ao Valor Paramétrico (5 $\mu\text{g/l}$) (Figura 4). O chumbo foi dosado nessas mesmas 185 águas de consumo (em 2003 o limite de quantificação era 50 $\mu\text{g/l}$ e o VMA também 50 $\mu\text{g/l}$; em 2005 o limite de quantificação passou para 4 $\mu\text{g/l}$ e o Valor Paramétrico foi definido como 25 $\mu\text{g/l}$). Em 2003, foi determinado numa amostra de água do concelho de Miranda do Douro uma concentração de chumbo de 50 $\mu\text{g/l}$, ou seja igual Valor Paramétrico, as restantes águas registaram sempre concentrações inferiores ao Valor Paramétrico (Figura 4). Os cianetos (limite de quantificação 10 $\mu\text{g/l}$) foram detectados nas mesmas amostras de água (185) e nunca atingiram o Valor Paramétrico (50 $\mu\text{g/l}$) (Figura 4). Os THM foram determinados apenas no ano de 2005, em 43 águas de consumo. Nestas amostras de águas, apenas uma registou uma concentração (52,7 $\mu\text{g/l}$) acima do limite de quantificação de 50 $\mu\text{g/l}$. O Valor Paramétrico nunca foi ultrapassado (100 $\mu\text{g/l}$) (Figura 4). O alumínio foi

Figura 4

Diagramas de extremos e quartis do cádmio, chumbo, cianetos, THM, alumínio e arsénio nos doze concelhos do distrito de Bragança entre 2003 e 2005

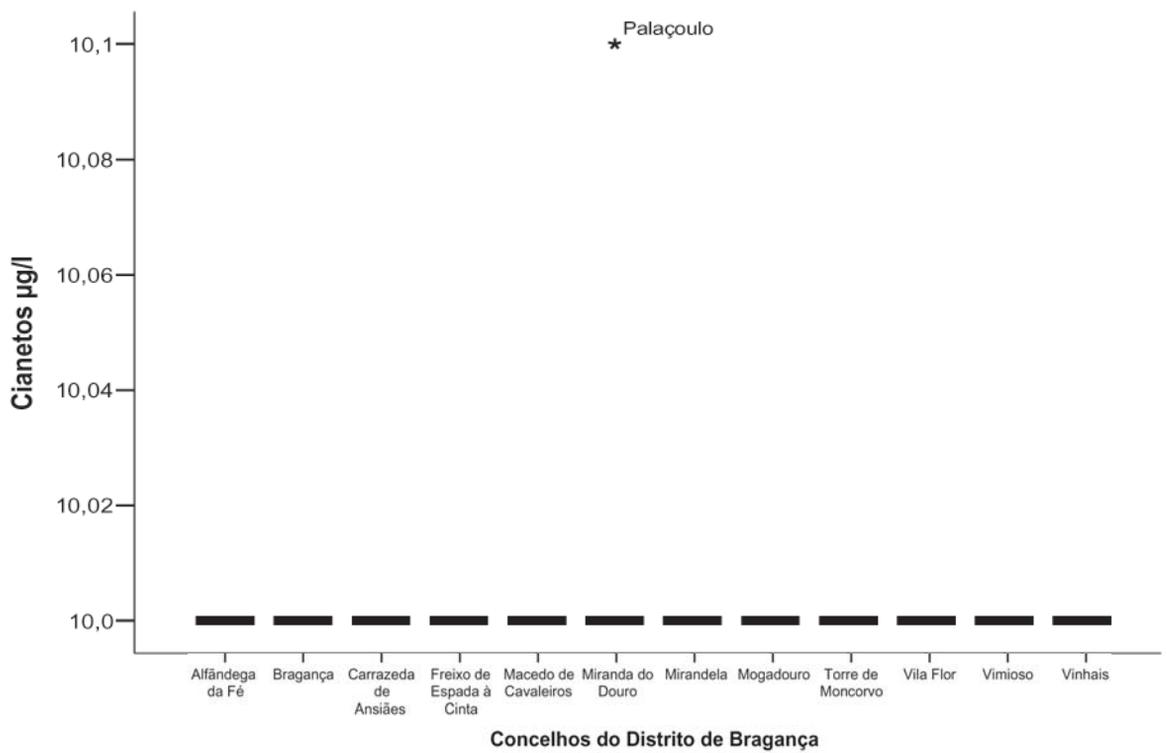
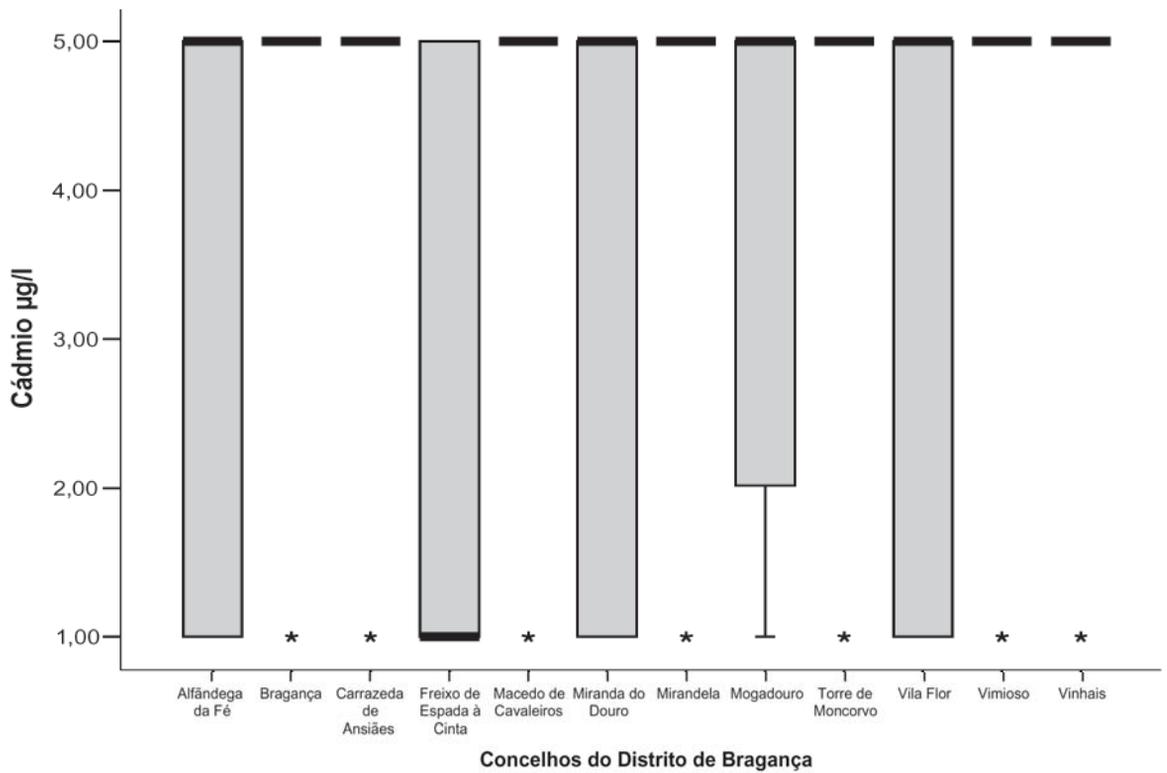


Figura 4 (cont.)

Diagramas de extremos e quartis do cádmio, chumbo, cianetos, THM, alumínio e arsénio nos doze concelhos do distrito de Braga entre 2003 e 2005

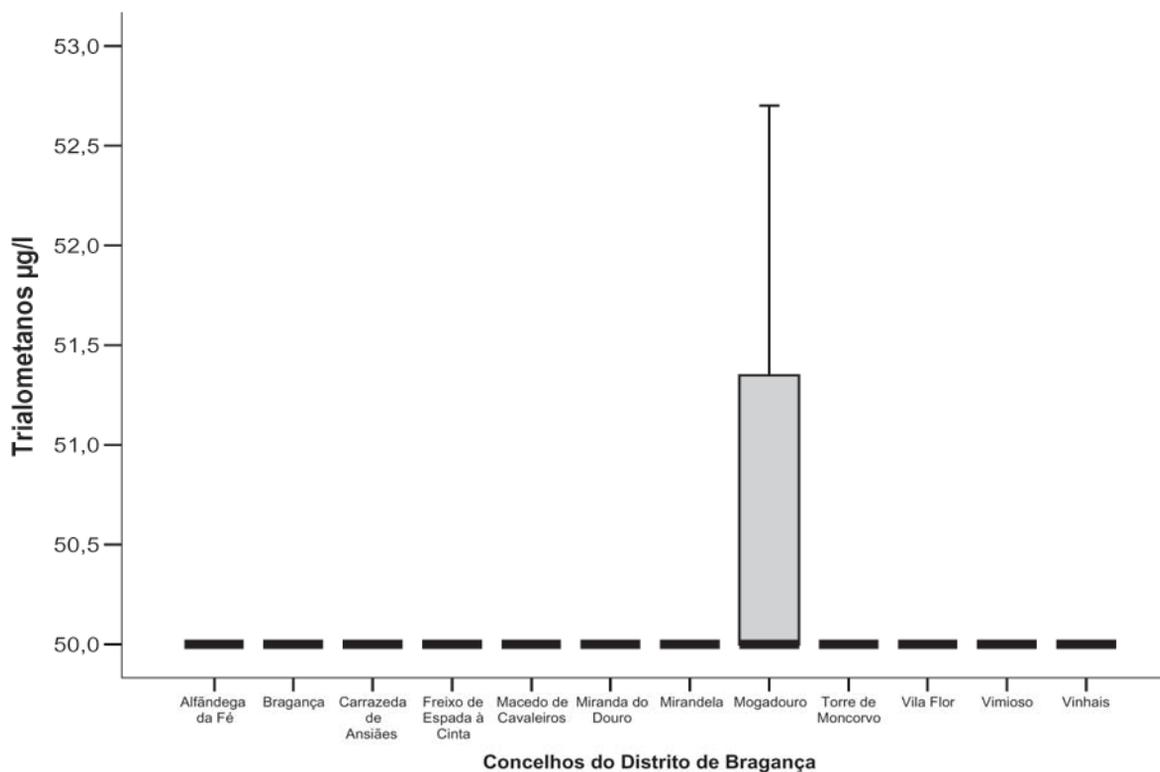
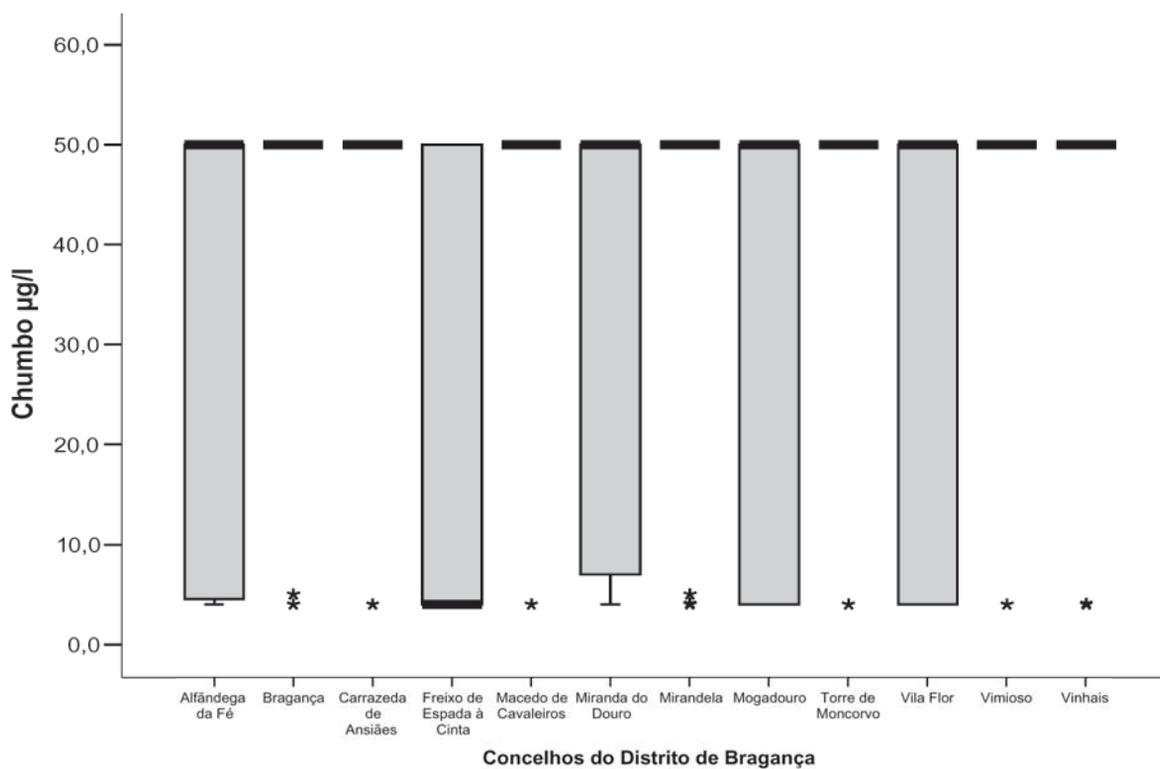
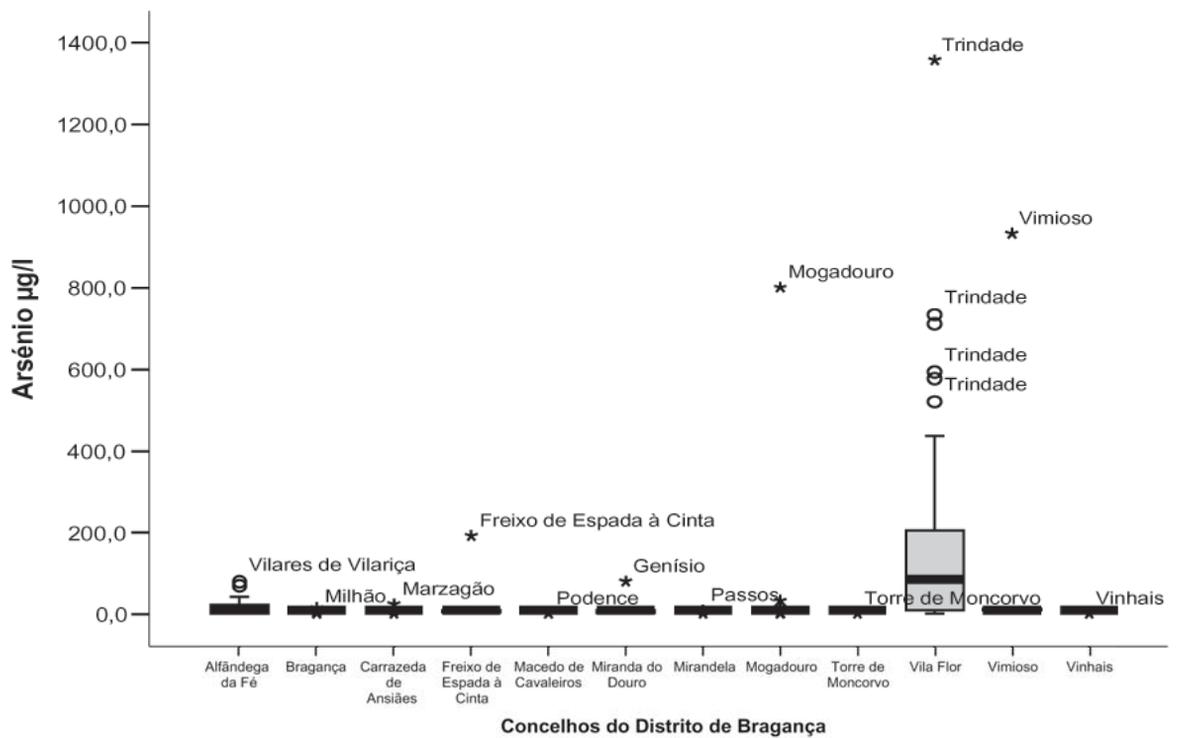
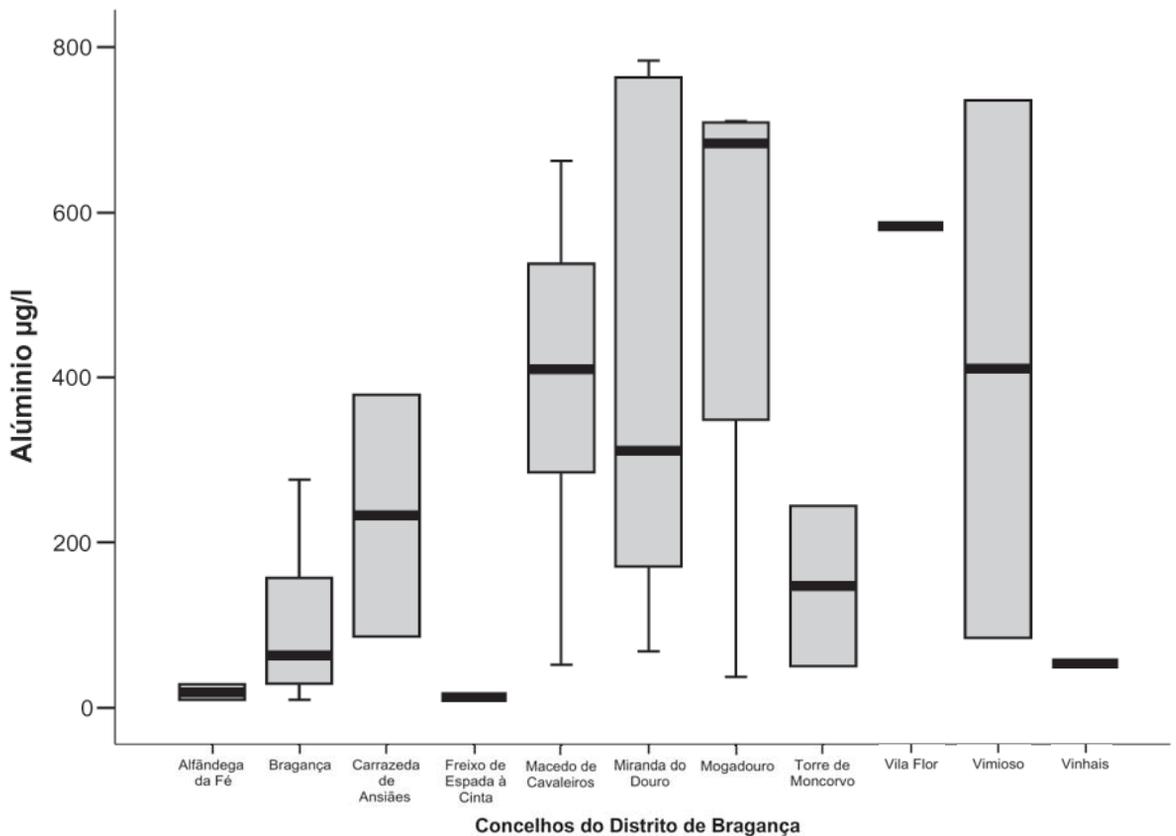


Figura 4 (cont.)

Diagramas de extremos e quartis do cádmio, chumbo, cianetos, THM, alumínio e arsénio nos doze concelhos do distrito de Bragança entre 2003 e 2005



determinado em 43 águas de consumo em 2005 (Figura 4). Do total das águas analisadas, 18 tiveram concentrações inferiores ao Valor Paramétrico (200 µg/l) e 25 concentrações superiores ao Valor Paramétrico. Apenas três das águas analisadas registaram concentrações inferiores ao limite de quantificação (10 µg/l). Os teores de alumínio mais elevados foram observados nos concelhos de Macedo de Cavaleiros, Miranda do Douro e Mogadouro. No concelho de Macedo de Cavaleiros foram efectuadas 14 análises ao alumínio, das quais 12 registaram concentrações superiores ao Valor Paramétrico e apenas duas concentrações inferiores ao Valor Paramétrico. Bragança foi um dos concelhos que registou os teores de alumínio mais baixos, e foi o segundo concelho com maior número de análises a alumínio. O arsénio foi o contaminante indesejável analisado com mais frequência nas águas de consumo. Entre 2003 e 2005 foram realizadas 251 análises (em 2003 o limite de quantificação era 10 µg/l e no ano de 2004 o limite passou a ser de 2,5 µg/l). Em 2003, nenhuma das amostras excedeu o Valor Paramétrico de 50 µg/l, e só foram registadas concentrações superiores a 10 µg/l em três amostras (Figura 4). No período de 2004 a 2005, 58 amostras de água registaram concentrações de arsénio superiores ao Valor Paramétrico de 10 µg/l. As concentrações de arsénio mais elevadas foram registadas no concelho de Vila Flor. Cerca de 50% das amostras de água com concentrações superiores ao Valor Paramétrico foram registadas em Vila Flor. Neste concelho, as freguesias de Benlhevai, Santa Comba da Vilarça, Vilarinho das Azenhas e principalmente a freguesia da Trindade registaram os teores mais elevados. Nos concelhos de Alfândega da Fé, Freixo de Espada à Cinta e Miranda do Douro, verificaram-se algumas concentrações de arsénio acima do Valor Paramétrico. Nos Concelhos de Vimioso e Mogadouro foram registadas duas concentrações de arsénio, muito acima do Valor Paramétrico (Figura 4). Nos outros concelhos do distrito de Bragança, os níveis de arsénio foram semelhantes e próximos do limite de quantificação.

3.7. Relação entre parâmetros microbiológicos e parâmetros químicos

A relação entre os parâmetros microbiológicos e químicos foi estudada apenas no período de 2003 a 2005. O LSPB, só neste período é que dispunha registos de parâmetros microbiológicos e químicos para as mesmas amostras de água. Das variáveis químicas estudadas o pH, os nitratos e o flúor foram as que mais se correlacionaram ($p < 0,01$; $p < 0,05$)

com os parâmetros microbiológicos. Não foi possível, no entanto, determinar que percentagem de variação dos parâmetros microbiológicos é que foi explicada por estas variáveis químicas. Fez-se a análise de regressão linear tipo *stepwise*, mas os dados não apresentaram distribuição normal (teste Kolmogorov-Smirnov) nem homogeneidade das variâncias (teste Levene). Como os Concelhos de Alfândega da Fé, Freixo de Espada à Cinta, Mirandela, Vila Flor e Vinhais apresentaram concentrações elevadas de ferro, tentou-se relacionar a concentração de ferro com a abundância dos parâmetros microbiológicos, nomeadamente com os teores de *E. coli*. Mais uma vez os dados não apresentaram distribuição normal nem homogeneidade das variâncias.

4. Discussão

A contaminação microbiológica das águas de consumo humano é frequente em Portugal (Mendes e Oliveira, 2004), contudo, no nosso país existem poucos dados publicados sobre a qualidade das águas de consumo. Apesar de serem efectuadas análises periódicas às águas de consumo de acordo com a legislação, os resultados não têm sido divulgados. Cada país, na perspectiva das suas próprias condições, deve planear a sua legislação em relação à água de consumo (WHO, 2004a). Um conhecimento mais real da qualidade das águas do nosso país permite aplicar melhores tratamentos e estratégias para assim se obter água de consumo cada vez com mais qualidade. Isto pode prevenir uma variedade de doenças relacionadas com a contaminação da água de consumo (Barrel, Hunter e Nichols, 2000; Hellard *et al.*, 2001; Strauss *et al.*, 2001; Amaral *et al.*, 2003; Mendes e Oliveira, 2004; WHO, 2004a) e evitar problemas de Saúde Pública (Mendes e Oliveira, 2004).

4.1. Avaliação microbiológica da qualidade da água

A avaliação global da qualidade microbiológica da água de consumo humano do distrito de Bragança, durante o período de 1996 a 2005, mostrou que 55% das amostras de água analisadas apresentaram boa qualidade bacteriológica. Este valor deveria ser, no entanto, bastante mais elevado, uma vez que a água de consumo é um bem para o Homem, mas apenas quando não causa risco para a saúde humana. Ao longo do período de estudo notou-se uma melhoria acentuada na qualidade microbiológica das águas de consumo humano. Nos últimos dois anos a percenta-

gem de águas em conformidade foi quase 70%, valor bastante superior ao obtido para o total do período de estudo (55%). A comparação dos teores dos vários grupos de microrganismos ao longo do período de estudo e a classificação das águas por comparação com a legislação em vigor indica que 1999 e 2000 foram os anos que apresentaram pior qualidade microbiológica das águas no distrito de Bragança, e que os anos de 2004 e 2005 foram os que apresentaram a água com melhor qualidade microbiológica. Os elevados teores de microrganismos em 1999 e 2000 podem ser explicados pela elevada precipitação que ocorreu nesta altura. Realmente, os níveis de precipitação acumulada foram elevados, atingindo em 1999 e 2000 níveis de 877 mm e 1181 mm, respectivamente (Almeida, Cunha e Dias, 2007). A elevada precipitação registada nesta altura pode ter contribuído para arrastar microrganismos, por lixiviação, os quais atingiram os leitos de água que abastecem a rede pública. A análise sazonal dos teores médios dos vários microrganismos também mostrou que, de um modo geral, os teores de microrganismos foram mais elevados no período de Inverno (Outubro a Janeiro). Isto está de acordo com outros estudos realizados (Ashbolt, Grabow e Snozzi, 2001; Kistemann *et al.*, 2002; Amaral *et al.*, 2003). Os resultados indicam que os baixos teores de microrganismos em 2004 e 2005 resultaram do aumento do número de águas tratadas, mas também da alteração da legislação em vigor que se tornou menos exigente com a entrada em vigor do Decreto-Lei n.º 243/2001. Antes da entrada em vigor deste Decreto-Lei, a percentagem de águas tratadas foi de 43%, passando a ser de 71% após a entrada em vigor da referida legislação. Porém, considerando apenas a fracção de águas não tratadas, verificou-se que nos dois últimos anos, altura em que a água foi classificada segundo o Decreto-Lei n.º 243/2001, a percentagem de águas conformes aumentou contra a tendência dos anos anteriores. Uma das principais alterações introduzidas pelo Decreto-Lei n.º 243/2001 foi a detecção de *C. perfringens* em vez da pesquisa de esporos de clostrídios sulfitorreductores. Esta alteração contribuiu muito para a diminuição do grau de exigência da qualidade da água. Antes da entrada em vigor deste Decreto-Lei, 18% das amostras de água analisadas para esporos de clostrídios apresentaram teores acima do limite. Após a entrada em vigor do Decreto-Lei n.º 243/2001 apenas 2% das amostras estudadas apresentaram resultados superiores ao Valor Paramétrico para *C. perfringens*.

A qualidade microbiológica das águas de consumo humano do distrito de Bragança foi diferente nas várias zonas do distrito durante o período de estudo. Nas sedes de concelho do distrito de Bragança onde a rede pública é abastecida por água tratada em Estações

de Tratamento de Água, os problemas existentes na rede de abastecimento são menores que os observados nas zonas rurais. Realmente, a qualidade da água nas sedes de concelho foi superior à qualidade da água das zonas rurais. Nas sedes de concelho 75,7% das águas foram consideradas como potáveis, mas nas zonas rurais apenas 52,7% das águas foram classificadas como potáveis. Comparando a qualidade microbiológica da água de consumo nos vários concelhos do distrito de Bragança nota-se que, de um modo geral, o teor de microrganismos foi mais elevado no concelho de Mogadouro. Este foi o concelho do distrito de Bragança que apresentou a água com pior qualidade microbiológica. Pelo contrário, o concelho de Freixo de Espada à Cinta foi o que apresentou teores de microrganismos mais baixos, ou seja, água com melhor qualidade microbiológica. Realmente, o concelho de Mogadouro foi o que apresentou a percentagem mais elevada de águas não conformes e o de Freixo de Espada à Cinta a percentagem mais elevada de águas conformes. Comparando os teores dos vários indicadores de poluição com os valores legislados verificou-se que os grupos de indicadores que mais vezes ultrapassaram o valor limite foram o grupo dos germes totais e o grupo dos coliformes. Como a presença dos germes totais em águas de consumo está relacionada, principalmente, com a concentração de matéria orgânica disponível na água e como o grupo dos coliformes inclui microrganismos que se podem multiplicar no ambiente, os teores elevados destes microrganismos podem ser resultado de contaminação telúrica não fecal. Realmente, os indicadores que menos vezes ultrapassaram o valor limite foram indicadores *C. perfringens*, esporos de clostrídios sulfitorreductores e *E. coli* cuja presença indica contaminação fecal. Assim sendo, a contaminação das águas do distrito de Bragança parece estar mais relacionada com a presença de matéria orgânica e não tanto com a presença de matéria fecal. As águas sem tratamento ou sem qualquer tipo de desinfecção geralmente apresentam maior quantidades de microrganismos do que as águas tratadas (American Chemistry Council. Chlorine Chemistry Council, 1997; Ashbolt, Grabow e Snozzi, 2001; Amaral *et al.*, 2003). Os resultados das análises microbiológicas realizadas entre 1996 e 2005 mostraram que as águas tratadas do distrito de Bragança apresentaram uma maior percentagem de águas conformes (74,2%) do que não conformes (25,8%), e que as águas não tratadas apresentaram uma maior percentagem de águas não conformes (62,2%) relativamente a conformes (37,8%), o que está de acordo com o esperado. As águas não tratadas apresentaram, ao longo do período de estudo, teores médios de microrganismos mais elevados que as águas tratadas. Por exemplo, em 1996, o teor de coliformes fecais chegou

a ser 1859 vezes mais elevado nas águas não tratadas do que nas águas tratadas. Convém salientar, no entanto, que a percentagem de águas não conformes é ainda muito elevada (25,8%). A alta percentagem de águas não conformes pode ser resultado de um tratamento ineficaz ou pode resultar de contaminação após tratamento durante a distribuição na rede de abastecimento pública. Para verificar se os teores elevados de microrganismos resultam de um tratamento ineficaz ou de uma contaminação durante a distribuição de água, seria importante avaliar a água antes e após tratamento, fazendo várias colheitas de água ao longo da rede de distribuição.

4.2. Avaliação química da qualidade da água

A OMS refere que raramente ocorrem problemas sérios de saúde associados à presença de contaminantes químicos na água de consumo, a não ser que aconteçam contaminações acidentais massivas ou períodos prolongados de exposição (WHO, 2004a). Realmente, de um modo geral, a qualidade química das águas de consumo humano do distrito de Bragança está de acordo com a legislação, não apresentando riscos para a Saúde Pública. À excepção do ferro, os parâmetros químicos estudados raramente ultrapassaram o Valor Paramétrico, desta forma é pouco provável que pelo consumo de água da rede pública ocorram problemas graves de saúde no distrito de Bragança associados a estes contaminantes químicos. Cerca de 11,2% das amostras de águas analisadas apresentaram concentrações de ferro acima do Valor Paramétrico. Concentrações de ferro acima de 300 µg/l podem provocar na água um sabor desagradável (Mendes e Oliveira, 2004; WHO, 2004b), cor avermelhada, aspecto turvo e mesmo neutralizar a acção dos desinfectantes (Mendes e Oliveira, 2004). Alguns estudos mostraram, no entanto, que concentrações elevadas de ferro (2 mg/l a 5 mg/l) na água de consumo não estão associadas a problemas graves para a saúde humana (Mendes e Oliveira, 2004; WHO, 2004b). Por outro lado, sabe-se que a presença de ferro nas águas de consumo pode favorecer o crescimento bacteriano, levando mesmo ao aumento do teor de *E. coli* (Mendes e Oliveira, 2004; Appenzeller *et al.*, 2005). Neste estudo não foram encontradas associações entre a presença de ferro e a densidade de *E. coli*. A presença de ferro nas águas de consumo pode resultar de um processo natural (Mendes e Oliveira, 2004; WHO, 2004b), ou também da corrosão das canalizações metálicas, provocada por águas agressivas (Mendes e Oliveira, 2004; WHO, 2004a; WHO, 2004b; American Public Health Association, 2001;

Appenzeller *et al.*, 2005). Realmente, no distrito de Bragança o pH das águas foi inferior a 6,5 em 22,2% do total das amostras analisadas, indicando que estas águas podem ser agressivas para as canalizações e, assim, podendo aumentar a concentração de ferro nas águas da rede pública. Esta observação é apoiada pelo facto do distrito de Bragança ser um meio rural com habitações antigas, que possuem, de um modo geral, canalizações metálicas. Consequentemente, poderá ocorrer perigo de contaminação microbiológica devido à deterioração das canalizações. O mau estado das canalizações também pode conduzir a perdas de água na rede de distribuição, o que também tem implicações económicas. O pH baixo além de danificar as canalizações também afecta a eficiência dos tratamentos de coagulação/floculação e filtração e interfere também na capacidade de desinfecção do cloro (Mendes e Oliveira, 2004). Neste estudo, o pH foi um dos parâmetros químicos que mais se correlacionou, embora inversamente, com os parâmetros microbiológicos. Os resultados sugerem, pois, que no distrito de Bragança, os valores baixos de pH podem levar ao aumento dos teores de microrganismos, provavelmente devido à interferência que o pH causa na capacidade de desinfecção do cloro. A presença de nitratos em elevadas concentrações nas águas de consumo pode resultar de processos agrícolas ou de contaminação por detritos humanos ou animais (Fewtrell, 2004; Mendes e Oliveira, 2004; WHO, 2004b; Ward *et al.*, 2005; Manassaram, Backer e Moll, 2006). No concelho de Mogadouro, que apresentou água de pior qualidade microbiológica ao longo do período de estudo, foram registadas concentrações de nitratos acima do Valor Paramétrico em 38% das amostras. Isto sugere que a má qualidade microbiológica da água do concelho de Mogadouro pode estar associada a contacto com terrenos agrícolas, que muitas vezes são fertilizados com adubos à base de nitratos e mesmo com dejectos de origem animal ou humana. O flúor pode causar efeitos adversos no esmalte dos dentes (sarapinta os dentes), quando ingerido através da água de consumo em concentrações entre 900 µg/l e 1200 µg/l (Ramires *et al.*, 2004; WHO, 2004b). Em locais com elevadas concentrações de flúor, caso da freguesia de Burga no concelho de Macedo de Cavaleiros, é possível que as águas de consumo possam afectar o esmalte dos dentes.

4.3. Avaliação dos contaminantes indesejáveis na água

As determinações para este grupo de contaminantes foram estudadas no período de 2003 a 2005.

O cádmio, o chumbo, os cianetos e os TMM nunca ultrapassaram o respectivo Valor Paramétrico nas águas de consumo humano do distrito de Bragança, mas o alumínio e o arsénio ultrapassaram em algumas amostras de água o respectivo Valor Paramétrico. Os sais de alumínio são muito usados como coagulantes no tratamento da água, podendo, quando a sua utilização é incorrecta, levar ao aumento da concentração de alumínio na água de consumo. Como o alumínio é dos elementos metálicos mais abundantes na crosta terrestre, também pode estar presente na água de consumo através de um processo natural. Nas amostras de água do concelho de Macedo de Cavaleiros as concentrações de alumínio foram elevadas. As elevadas concentrações podem ser resultado de um sistema de tratamento de água inadequado ou de um processo natural (American Public Health Association, 2001; Mendes e Oliveira, 2004; WHO, 2004b). Alguns estudos têm sugerido que a exposição a alumínio pode ser um factor de risco para o desenvolvimento ou aceleração da doença de Alzheimer em humanos (Andía e Martín, 2002; Malluche, 2002; WHO, 2004b). Os riscos estimados são, no entanto, imprecisos por uma variedade de razões metodológicas (WHO, 2004b). As águas do concelho de Macedo de Cavaleiros podem pois apresentar risco para a Saúde Pública. O arsénio está distribuído pela crosta terrestre, e é introduzido na água de consumo principalmente através da dissolução de minerais e minérios (American Public Health Association, 2001; Chiou *et al.*, 2001; Steinmaus *et al.*, 2003; Mendes e Oliveira, 2004; WHO, 2004b; Pokhrel *et al.*, 2005; Steinmaus *et al.*, 2005). É muito provável que na freguesia da Trindade, onde não existe qualquer indústria, o arsénio presente na água de consumo humano seja devido a um processo natural. O arsénio pode ser eliminado da água de consumo pelo processo de coagulação (Mendes e Oliveira, 2004; WHO, 2004b; Pokhrel, Viraraghavan e Braul, 2005), mas nas freguesias Benlhevai, Santa Comba da Vilariça, Trindade e Vilarinho das Azenhas, onde se registaram níveis acima do Valor Paramétrico (10 µg/l) para este contaminante, não é feito tratamento por coagulação. Assim sendo, as entidades de Saúde Pública competentes deveriam tomar medidas para tratar as águas destas freguesias ou então impedir a utilização destas águas para consumo humano. O arsénio ingerido através do consumo de água pode causar cancro nos seres humanos, como, por exemplo, cancro da pele, bexiga e do pulmão (American Public Health Association, 2001; Chiou *et al.*, 2001; Steinmaus *et al.*, 2003; Mendes e Oliveira, 2004; WHO, 2004b; Pokhrel Viraraghavan e Braul, 2005; Steinmaus *et al.*, 2005). Em locais contaminados, particularmente na Freguesia da Trindade, seria

importante avaliar se a exposição ao arsénio resultante da ingestão de água pode estar relacionada com o aumento da prevalência de cancro.

5. Conclusão

A qualidade da água de consumo do distrito de Bragança foi melhorando ao longo do período de estudo, particularmente nos últimos dois anos devido ao aumento da percentagem de águas tratadas, mas também devido à alteração da legislação em vigor. Não é possível afirmar que o tratamento das águas para consumo humano não tenha melhorado substancialmente a sua qualidade, pois considerando o total das águas analisadas apenas 55 % das amostras são classificadas como potáveis, mas, tendo em conta apenas as águas tratadas 74,2 % são potáveis, valor bastante mais elevado que o obtido para as águas não tratadas (37,8 %). É legítimo, contudo, perguntar porque será que ainda persistem tantos sistemas com água microbiologicamente imprópria para consumo em sistemas que possuem processos de tratamento, nomeadamente desinfecção? Sanitariamente qualquer água desinfectada deverá obrigatoriamente ser potável, pois, caso contrário, a desinfecção não obedeceu aos métodos e processos técnicos adequados. Em alguns locais, como o Concelho de Mogadouro, com águas de consumo de má qualidade microbiológica, seria importante avaliar os factores e as causas que poderão estar associadas a esta má qualidade. Seria também importante avaliar, para estes locais, se o consumo de água de abastecimento está associado a uma maior prevalência de doenças, nomeadamente de gastroenterites. Nas águas de alguns locais deste distrito, observou-se que determinados parâmetros químicos e contaminantes indesejáveis apresentaram muitas vezes concentrações acima do Valor Paramétrico. O ferro, nos concelhos de Alfândega da Fé, Freixo de Espada à Cinta, Vila Flor e Vinhais, o alumínio, particularmente no concelho de Macedo de Cavaleiros com concentrações muito acima do Valor Paramétrico, e o arsénio, no concelho de Vila Flor e principalmente na freguesia da Trindade. Estes casos deveriam ser alvo de um estudo aprofundado com vista a identificar as causas que originam essas concentrações elevadas e avaliar os perigos para a saúde das populações envolvidas. Deste modo, poderia ser possível tomar medidas apropriadas para evitar a presença destes compostos químicos na água consumo.

Neste estudo, talvez por os dados não apresentarem distribuição normal e homogeneidade de variâncias, não foi possível determinar que variação do teor dos vários microrganismos presentes nas águas de con-

sumo do distrito de Bragança é que é explicada pelas variáveis químicas. É possível afirmar, no entanto, que o pH, os nitratos e o flúor podem influenciar a variação dos teores de microrganismos. Alterações na qualidade da água, mesmo que momentâneas, podem ser suportadas por indivíduos saudáveis, contudo em pessoas cujo estado de saúde esteja debilitado podem causar efeitos na saúde humana. As autarquias, as empresas de distribuição de água, os laboratórios e as entidades de Saúde Pública, em conjunto, têm de estar preparados e ser capazes de assegurar às populações água de consumo com qualidade, para assim prevenir muitas das doenças que podem ser transmitidas por águas contaminadas. Só com um controlo cada vez mais rigoroso e apoiado em conhecimentos hidrológicos, será possível fazer uma gestão adequada da água disponível e desta forma permitir ao Homem e ao planeta a quantidade de água necessária.

□ Bibliografia

ALMEIDA, M. A.; CUNHA, M. A.; DIAS, J. M. — Bacterial productivity distribution during a rainy year in an estuarine system. *Microbial Ecology*. 53 : 3 (2007) 208-220.

AMARAL, L. A. *et al.* — Drinking water in rural farms as a risk factor to human health. *Revista de Saúde Pública*. 37 : 4 (2003) 510-514.

AMERICAN CHEMISTRY COUNCIL. CHLORINE CHEMISTRY COUNCIL — Groundwater disinfection : chlorine's role in public health : chlorine's critical role in public health, November 1997. [Em linha]. Arlington, VA: Chlorine Chemistry Council, 1997. [Consult. 2006-10-13]. Disponível em <http://www.waterandhealth.org/drinkingwater/groundwater.html>

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION — Standard methods for the examination of water and wastewater. 21th ed. Washington, DC : American Public Health Association, 2001.

ANDERSON, K. L.; WHITLOCK, J. E.; HARWOOD, V. J. — Persistence and differential survival of fecal indicator bacteria in subtropical waters and sediments. *Applied and Environmental Microbiology*. 71 : 6 (2005) 3041-3048.

ANDÍA, J. B. C.; MARTÍN, J. L. F. — The clinical impact of aluminium overload in renal failure. *Nephrology Dialysis Transplantation*. 17 : Suppl. 2 (2002) 9-12.

APPENZELLER, B. M. R. *et al.* — Advantage provided by iron for *Escherichia coli* growth and cultivability in drinking water. *Applied and Environmental Microbiology*. 71 : 9 (2005) 5621-5623.

ASHBOLT, N. J.; GRABOW, W. O. K.; SNOZZI, M. — Indicators of microbial water quality. In FEWTRELL, L. E. BARTRAM, J. ed. *Water quality : guidelines, standards and health : assessment of risk and risk management for water-related infectious disease*. London : IWA Publishing, 2001. 289-317.

BARREL, R. A. E.; HUNTER, P. R.; NICHOLS, G. — Microbiological standards for water and their relationship to health risk. *Communicable Disease and Public Health*. 3 : 1 (2000) 8-13.

BOVE, F.; SHIM, Y.; ZEITZ, P. — Drinking water contaminants and adverse pregnancy outcomes : a review. *Environmental Health Perspectives*. 110 : 1 (2002) 61-74.

CHAO, K.; CHAO, C.; CHAO, W. — Suitability of the traditional microbial indicators and their enumerating methods in the assessment of fecal pollution of subtropical freshwater environments. *The Journal of Microbiology, Immunology and Infection*. 36 (2003) 288-293.

CHILLER, T. M. *et al.* — Reducing diarrhoea in Guatemalan children : randomized controlled trial of flocculant-desinfectant for drinking-water. *Bulletin of the World Health Organization*. 84 : 1 (2006) 28-35.

CHIOU, H. *et al.* — Incidence of transitional cell carcinoma and arsenic in drinking water : a follow-up study of 8,102 residents in an arseniasis-endemic area in north-eastern Taiwan. *American Journal of Epidemiology*. 153 : 5 (2001) 411-418.

DECRETO-LEI n.º 236/1998. D.R. I Série — A (01-08-98) 3676-3722 — Estabelece normas, critérios e objectivos de qualidade com a finalidade de proteger o meio aquático e melhorar a qualidade das águas em função dos seus principais usos. Revoga o Decreto-Lei n.º 74/90 de 7 de Março.

DECRETO-LEI n.º 243/2001. D.R. I Série — A (05-09-01) 5754-5765 — Aprova normas relativas à qualidade da água destinada ao consumo humano transpondo para o direito interno a Directiva n.º 98/83/CE, do Conselho, de 3 de Novembro, relativa à qualidade da água destinada ao consumo humano.

DECRETO-LEI n.º 74/1990. D.R. I Série — A (07-03-90) 981-1024 — Aprova as normas de qualidade da água.

FEWTRELL, L. — Drinking-water nitrate, methemoglobinemia, and global burden of disease : a discussion. *Environmental Health Perspectives*. 112 : 14 (2004) 1371-1374.

HELLARD, M. E. *et al.* — A randomized, blinded, controlled trial investigating the gastrointestinal health effects of drinking water quality. *Environmental Health Perspectives*. 109 : 8 (2001) 773-778.

HUGHES, K. A. — Influence of seasonal environmental variables on the distribution of presumptive fecal coliforms around an Antarctic research station. *Applied and Environmental Microbiology*. 69 : 8 (2003) 4884-4891.

KISTEMANN, T. *et al.* — Microbial load of drinking water reservoir tributaries during extreme rainfall and runoff. *Applied and Environmental Microbiology*. 68 : 5 (2002) 2188-2197.

MALLUCHE, H. H. — Aluminium and bone disease in chronic renal failure. *Nephrology Dialysis Transplantation*. 17 : 2 (2002) 21-24.

MANASSARAM, D. M.; BACKER, L. C.; MOLL, D. M. — A review of nitrates in drinking water : maternal exposure and adverse reproductive and developmental outcomes. *Environmental Health Perspectives*. 114 : 3 (2006) 320-327.

MAROCO, J. — Análise estatística : com utilização do SPSS. 2.ª ed. Lisboa : Edições Sílabo, 2003.

MENDES, B.; OLIVEIRA, J. F. S. — Qualidade da água para consumo humano. 1.ª ed. Lisboa : Lidel, 2004. (Edições técnicas).

NIEUWENHUIJSEN, M. J. *et al.* — Chlorination disinfection byproducts in water and their association with adverse reproductive outcomes : a review. *Occupational and Environmental Medicine*. 57 (1999) 73-85.

NOGUEIRA, G. *et al.* — Microbial quality of drinking water of urban and rural communities, Brazil. *Revista de Saúde Pública*. 37 : 2 (2003) 232-236.

PEREIRA, A. — Guia prático de utilização do SPSS : análise de dados para ciências sociais e psicologia. 3.^a ed. Lisboa : Edições Sílabo, 2002.

POKHREL, D.; VIRARAGHAVAN, T.; BRAUL, L. — Evaluation of treatment systems for the removal of arsenic from groundwater. *Practice Periodical of Hazardous, Toxic, and Radioactive Waste Management*. 9 : 3 (2005) 152-157.

RAMIRES, I. *et al.* — Evaluation of the fluoride concentration and consumption of mineral water. *Revista de Saúde Pública*. 38 : 3 (2004) 459-465.

STEINMAUS, C. *et al.* — Dietary intake and arsenic methylation in a U.S. population. *Environmental Health Perspectives*. 113 : 9 (2005) 1153-1159.

STEINMAUS, C. *et al.* — Case-control study of bladder cancer and drinking water arsenic in the western United States. *American Journal of Epidemiology*. 158 : 12 (2003) 1193-1201.

STRAUSS, B. *et al.* — A prospective study of rural drinking water quality and acute gastrointestinal illness. *BMC Public Health*. 1 : 8 (2001). [Em linha]. [Consult. 2008-01-12]. Disponível em <http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=57004>.

TOMINAGA, M. Y.; MIDIO, A. F. — Human exposure to trihalomethanes in drinking water. *Journal of Public Health*. 33 : 4 (1999) 413-421.

U. S. GEOLOGICAL SURVEY — Water science for schools : groundwater quality, August 2005. [Em linha]. Menlo Park, CA: U. S. Geological Survey, 2006. [Consult. 2006-10-13]. Disponível em <http://ga.water.usgs.gov/edu/>

WARD, M. H. *et al.* — Workgroup report : drinking-water nitrate and health-recent findings and research needs. *Environmental Health Perspectives*. 13 : 11 (2005) 1607-1614.

WOO, Y. *et al.* — Use of mechanism-based structure-activity relationships analysis in carcinogenic potential ranking water disinfection by-products. *Environmental Health Perspectives*. 110 : 1 (2002) 75-87.

WHO — Guidelines for drinking-water quality. Geneva : World Health Organization, 2004a.

WHO — Guidelines for drinking-water quality. Geneva : World Health Organization, 2004b. 12. 296-461.

□ Abstract

MICROBIOLOGICAL AND CHEMICAL QUALITY OF DRINKING WATER IN BRAGANÇA DISTRICT

The microbiological and chemistry quality of water of human consumption of the District of *Bragança* was evaluated and the variation of the content of micro-organisms in the water was related with the chemical characteristics of that water.

The microbiological quality of waters of human consumption of the District of *Bragança* was evaluated between 1996 and 2005. The classification of analyzed waters in this period was based on the Decree 74/1990 (7 March), which was revoked by

the Decree 236/1998 (1 August). No alterations were verified in the studied parameters. From 2004 on, the classification of waters followed the Decree 243/2001 (5 September). Of the microbiological analyses that were carried through (21630 analyses), 8225 (38.03%) had been classified as improper, 7169 (33.14%) as potable ones, 2056 (9.51%) as over the recommendable maximum value, 2770 (12.81%) as in agreement and 1410 (6.52%) as not in agreement ones. Of all the carried through microbiological analyses, 10490 (48.5%) had been the treated waters and 11140 (51.5%) the waters not treated. From all treated waters, 7782 (74.2%) had been classified as in agreement and 2708 (25.8%) as not in agreement. From all waters not treated, 4213 (37.8%) had been classified as in agreement and 6927 (62.2%) as not in agreement. Only in three of the twelve studied regions, *Mogadouro*, *Macedo de Cavaleiros* and *Alfândega da Fé*, a water percentage above 50% was verified in not conformity. *Mogadouro* presented the waters of human consumption with worse microbiological quality (62.3% of the total of analyzed waters were considered improper for consumption). *Freixo de Espada à Cinta* presented the biggest number of water in conformity (73.5% of waters had been considered appropriate regarding the legal demands).

The chemical quality of consumption waters was evaluated between 2003 and 2005. The total of analyzed samples (2692), 2549 (about 95%) had been classified in accordance with Decree 243/2001 and only 143 according to Decree 236/1998. Nineteen (0.7%) waters had been classified as improper, 1841 (68.4%) as potable, 518 (19.2%) as aggressive water for the plumbing and 314 (11.7%) as being over parametric value. From the total of the analyses, 1832 (68.1%) were carried though treated waters and 860 (31.9%) to not treated waters. The undesirable contaminants were also only detected between 2003 and 2005. In this period, 278 analyses had been carried through. The concentration of cadmium, lead, cyanide and trihalomethanes had never exceeded the parametric value. The aluminium and the arsenic had exceeded the parametric value in 58% and 23% of the analyzed samples, respectively. From all the chemical variables studied the pH, the nitrates and the fluorine had been the ones that had been more correlated ($p < 0,05$) with the microbiological parameters. It was not possible, however, to evaluate that percentage of variation of the microbiological parameters that was explained by these chemical variables, through the linear regression type stepwise. Although the microbiological quality of potable water in *Bragança* District has improved throughout the period of study, in particular in the last two years, around 45% of the analyzed waters did not present good microbiological quality. It was verified that the treatment of these waters was not entirely efficient. Therefore the percentage of the improper consumption waters after the treatment was very high (25%). All treated water should be potable otherwise the treatment was not made according to the right methods and to the adequate technical processes.

Keywords: water quality; fecal contamination indicator; chemical contaminants; drinking water; District of *Bragança*.