

XI SIMPÓSIO DE RECURSOS HIDRÍCOS DO NORDESTE

ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DE BARREIRAS SANITÁRIAS NA QUALIDADE DA ÁGUA DE CHUVA ARMAZENADA EM CISTERNAS RURAIS

Rogério Pereira Xavier¹; Beatriz Susana Ovruski de Ceballos²; Rodolfo Luiz Bezerra Nóbrega¹ & Carlos de Oliveira Galvão¹

RESUMO – A água de chuva é uma fonte hídrica bastante utilizada no semiárido brasileiro. Sua qualidade pode ser satisfatória para consumo humano, desde que práticas de segurança sanitária (barreiras sanitárias) sejam adotadas. Neste trabalho foi avaliada em escala real a qualidade da água armazenada em cisternas em comunidades rurais dos municípios de São João do Cariri e Campina Grande, Paraíba, sob diferentes condições de manutenção e manejo, e a eficiência de desvios das primeiras águas de chuvas instalados em dois desses sistemas sob os cuidados dos proprietários. Observou-se que as águas armazenadas nas cisternas possuem qualidade inferior à água de chuva da região. A barreira sanitária melhorou a qualidade da água (diminuição da turbidez, SDT e parasitos – cistos de *Giardia* e ovos de helmintos). Coliformes totais e *E.coli* também foram reduzidos, embora em menor proporção. Conclui-se que: a) a água de chuva das áreas estudadas é de excelente qualidade; b) a adoção do desvio das primeiras águas é importante para fornecer água mais adequada ao consumo; e c) os usuários não se apropriaram do conceito de qualidade da água (água boa) associada ao manejo e manutenção do sistema de aproveitamento da água de chuva, não atingindo eficiências significativas dos indicadores microbiológicos.

ABSTRACT – Rainwater is largely used in the semi-arid region of Brazil. Its quality could be satisfactory for human consumption since the health and safety practices (sanitation devices) are adopted. In the present work the quality of water stored in cisterns in rural communities of São João do Cariri and Campina Grande, Paraíba, was evaluated under different conditions of maintenance and management, and also the efficiency of the first flush diverters (sanitation devices) installed in two of these cisterns. It was observed that the diverters have improved the water quality (e.g.: reduction of turbidity and parasites). The main conclusions are: a) the rainwater of the study areas has excellent quality; b) the adoption of the first flush diverters is important to provide more appropriate water quality for consumption; and c) the users have not absorbed the concept of water quality associated with the management and maintenance of the use of rainwater system.

Palavras-Chave – cisternas, qualidade da água, semiárido.

INTRODUÇÃO

A captação e armazenamento de água de chuva é uma prática usada há vários séculos em regiões áridas e semiáridas, onde a precipitação pluviométrica é escassa ou irregularmente distribuída em poucos meses do ano. Para o uso humano dessa água são utilizados sistemas de captação e armazenamento compostos basicamente de três elementos: área de captação (telhado ou calçadão); subsistema de condução (calhas e dutos) e cisterna (MEIRA FILHO *et al.*, 2005). A

1) Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Departamento de Engenharia Civil, rogeriopxavier@yahoo.com.br, rodolfofbn@gmail.com, galvao@dec.ufcg.edu.br.

2) Universidade Estadual da Paraíba (UEPB), bia.ceballos@gmail.com.

cisterna deve ser segura e fechada, para que não haja vazamentos, nem evaporação ou poluição (KÜSTER *et al.*, 2006; UNESCO, 2008).

Em geral a qualidade de qualquer água é determinada pela qualidade da sua fonte, por sua exposição aos contaminantes desde a captação, passando pelo armazenamento e pela realização ou não de um tratamento final antes do consumo, que pode ser simples desinfecção. Assim, a qualidade da água da chuva captada em cisternas depende da pureza da atmosfera, dos materiais usados para construir a área de captação e das impurezas depositadas na sua superfície, geralmente o telhado (onde há exposição a raios ultravioleta, calor e dessecação que elimina grande parte dos microrganismos ali presentes), das calhas e bicas, que conduzem a água para a cisterna, da “ecologia da cisterna”, da maneira como se tira a água da mesma, do contato humano e do tipo de tratamento antes do consumo (GNADLINGER, 2007).

A proteção sanitária da água armazenada em cisternas rurais para o abastecimento doméstico é relativamente simples, requerendo, basicamente, cuidados como o desvio correto das primeiras águas das chuvas em quantidade suficiente para limpar a atmosfera e a superfície de captação, com a retirada da água da cisterna por tubulação e com manejo adequado pelos moradores (RODRIGUES *et al.*, 2007; SOUZA *et al.*, 2011).

O transporte da água da cisterna para o interior da residência pela família é um importante fator de contaminação, já que a água é levada em baldes ou latas, muitas vezes inapropriados e guardados em alguns casos, próximos às criações de animais. Quanto maior o nível de educação sanitária, ambiental e de conhecimento de práticas higiênicas dos usuários, mais segura à qualidade das águas das cisternas (ANDRADE NETO, 2003).

A qualidade da água para consumo humano deve obedecer aos padrões estabelecidos pela Portaria 2.914/2011 do Ministério da Saúde, que fixa os Valores Máximos Permitidos –VMP para cada parâmetro de qualidade de água, assim como estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e à vigilância dessa qualidade. Para esse trabalho foi utilizada como referência a Portaria 518/2004-MS, vigente na época dos estudos e que não difere da atual para esses parâmetros. Essa portaria define água potável como aquela que é apropriada para o consumo humano e “*cujos indicadores biológicos, microbiológicos, físicos, químicos e radioativos, atendem ao padrão de potabilidade e não oferecem riscos à saúde*”. A mesma recomenda a inclusão da pesquisa de organismos patogênicos com o objetivo de atingir padrão de ausência, dentre outros, de cistos de *Giardia spp* e de oocistos de *Cryptosporidium sp*.

Vários estudos destacaram que a qualidade de água de chuva armazenada em cisternas, geralmente atende aos padrões físico-químicos de potabilidade, porém não atende aos padrões microbiológicos (AMORIM e PORTO, 2001; ANDRADE NETO, 2004; SILVA, 2006). A maioria dessas pesquisas evidencia que as águas armazenadas nas cisternas apresentam coliformes

termotolerantes/*E.coli* e protozoários e helmintos patogênicos (SCHURING e SCHWIENSTEK, 2005).

Objetiva-se com isto analisar em escala real o impacto causado na qualidade da água pelos dispositivos automáticos de desvio das primeiras águas da chuva e pela forma como é executado o manejo dos sistemas de captação e armazenamento de água de chuva. As cisternas estudadas estão localizadas no semiárido do Estado da Paraíba, no Nordeste do Brasil.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado em comunidades rurais do município de São João do Cariri e do assentamento do INTERPA em Paus Brancos, no município de Campina Grande, ambos no estado da Paraíba. Insere-se no contexto do projeto “Melhoramentos Tecnológicos e Educação Ambiental para a Sustentabilidade dos Projetos de Armazenamento de Águas Pluviais em Cisternas no Nordeste Semi Árido”, desenvolvido em comunidades rurais da Paraíba e de Pernambuco no período 2007 a 2009, com recursos financeiros do Fundo Setorial de Recursos Hídricos/CT- Hidro e teve como entidade administradora a Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP).

O município de São João do Cariri possui área de 701,86 km², clima seco, semiárido, solos rasos, subsolo derivado do embasamento cristalino, vegetação de caatinga, relevo ondulado e altitude entre 450 a 550 m. O município se localiza na bacia hidrográfica do rio Taperoá, na Mesorregião da Borborema. As chuvas se concentram nos três a quatro primeiros meses do ano com valores médios mensais entre 60 a 400 mm, com máximos em janeiro.

O assentamento Paus Brancos possui cerca de 70 famílias e está sob a tutela do Instituto de Terras e Planejamento Agrícola da Paraíba (INTERPA) desde 1988. Localiza-se na microbacia do Riacho Angico, afluente do Rio São Pedro, que deságua no Rio Bodocongó, afluente do Rio Paraíba. A microbacia situa-se na divisa dos municípios de Campina Grande e Caturité, PB, em área rural. A região apresenta clima típico de semiárido quente com chuvas médias anuais de 239 a 479 mm.

Monitoramento de cisternas com e sem desvio das primeiras águas das chuvas

No estudo inicial foram selecionadas 4 cisternas em São João do Cariri (codificadas com as siglas SJC1, SJC2, SJC3 e SJC4) e 4 em Paus Brancos (codificadas com as siglas PB1, PB2, PB3 e PB4) que foram monitoradas desde 2007 até 2008 (TAVARES *et al.*, 2009). Neste trabalho o monitoramento foi continuado e, adicionalmente, em 2008, foram instalados desvios automáticos das primeiras águas de chuva nas cisternas SJC4 e PB4. Os desvios automáticos das primeiras águas de chuvas seguiram os princípios de fecho hídrico (na cisterna SJC4) e de vasos comunicantes (na cisterna PB4). Os moradores das residências receberam treinamento para o manejo do desvio: importância de seu esvaziamento depois de cada evento chuvoso, utilização da

água do desvio em usos menos nobres como irrigação, como realizar a limpeza, conserto de eventuais rachaduras, entre outras orientações.

Dispositivo de desvio das primeiras águas

Os desvios funcionaram através de um “T” intercalado na tubulação de entrada da cisterna, que deriva para um pequeno tanque as águas das primeiras chuvas (correspondem as águas de lavagem da atmosfera, da superfície de captação e dos dutos de condução da água). O dimensionamento do dispositivo de desvio se faz em função do tamanho do telhado (área de captação) para que esse dispositivo seja preenchido com água utilizada para “lavar” o telhado e, conseqüentemente, desvie automaticamente a água de melhor qualidade, que escoar para a cisterna. O volume definido como suficiente para “lavar” o telhado é de 1 litro de chuva para cada metro quadrado da área de captação. Nas duas residências as caixas de desvio tinham capacidade de 80 L (o que significa dizer que as áreas de captação de cada uma eram de 80 m²). Depois da chuva o desvio foi esvaziado, através de uma tubulação de descarga instalada na parte inferior da caixa.

Dispositivo de desvio das primeiras águas pelo princípio do fecho hídrico (DFH): tem seu princípio físico no fecho hídrico. No tubo que liga a calha à cisterna uma conexão “T” encaminhará a água para o dispositivo vedado. Esse tubo passa a 20 cm da entrada do dispositivo de desvio. Quando a água que escoar para o desvio atinge seu volume máximo, segue pela tubulação até chegar à cisterna (Figura 1). O DFH foi instalado na cisterna SJC4.

Dispositivo de desvio das primeiras águas pelo princípio dos vasos comunicantes (DVC): o DVC também é instalado entre a calha e a cisterna (Figura 1). As primeiras águas escorrem através de um “T” para o dispositivo de descarte até alcançar o nível máximo; a seguir a água é escoada naturalmente por tubulação até a cisterna, sem a mistura da água descartada. O DFH tem a vantagem de não ser hermeticamente fechado como o DVC; possui tampa removível a qual facilita a limpeza no interior. O DVC foi instalado na residência PB4.

Procedimento de coleta e parâmetros estudados

O protocolo usado desde o início do projeto (dezembro de 2007 - dezembro de 2008) foi continuado. As amostras de água de cada cisterna foram coletadas uma vez por mês. Nesta segunda fase, o período de estudo foi de janeiro a julho de 2009 para as 6 cisternas sem sistemas de desvio das primeiras águas de chuva e até outubro do mesmo ano para SJ4 e PB4, com sistemas de desvio.

Os parâmetros de qualidade analisados neste trabalho são pH, turbidez, cor aparente, sólidos dissolvidos totais, coliformes totais, *E. coli*, bactérias heterotróficas totais e parasitos. Em algumas análises também foram utilizados dados do período anterior (2007-2008) com fins de comparação.

As coletas de amostras de água para análises microbiológicas foram feitas com garrafas de polietileno de 250 ml, boca larga protegida com papel laminado e estéreis (121° C – 30’). Para coliformes totais e *Escherichia coli* foi usada a técnica substrato cromogênico – MUG e para

Bactérias Heterotróficas Totais a técnica de vertido em placa, meio de cultura “Plate Count Agar” (Difco), incubação a 37° C/48 horas. Todas as análises seguiram a metodologia APHA/AWWA/WEF (1998), exceto as parasitológicas.

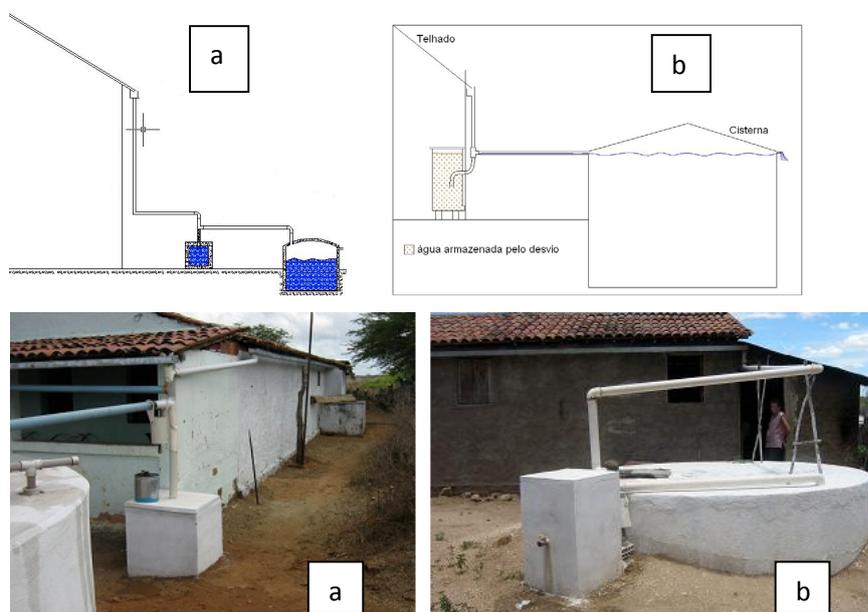


Figura 1 – Esquemas e fotos de desvio das primeiras águas de chuvas: (a) princípio do fecho hídrico/DFH; (b) princípio dos vasos comunicantes/DVC.

As determinações de ovos de helmintos e cistos de protozoários se iniciaram em julho de 2008 com análises mensais durante julho e agosto/2008 e desde setembro foram alternadas: um mês nas cisternas de São João do Cariri e no seguinte nas cisternas de Paus Brancos. A técnica seguiu Ritchie (1948) modificado.

Observações de campo

Em cada visita mensal, eram feitas coletas de água das cisternas e antes e depois dos desvios e o acompanhamento das famílias para registrar mudanças de comportamento (número de pessoas, doenças), se ocorreram chuvas na região, alterações no sistema de captação e armazenamento (conservação dos telhados, ductos e cisternas, uso da calha móvel, se naquele mês a cisterna recebeu água de carro-pipa, tipos de usos da água da cisterna, etc.). Também era feito o registro do volume de água na cisterna. Este dado, analisado junto com as informações do número de habitantes na casa, de chuvas recentes na região e o tipo de uso permitiu deduzir se realmente a cisterna não havia recebido água de carro-pipa. O dado é essencial para poder associar a qualidade da água antes dos desvios com a origem da fonte (de chuva ou de carro-pipa) e as doenças diarreicas. Esse artifício foi necessário após detectar que nos questionários aplicados no início da pesquisa a maioria dos usuários respondeu que somente armazenava água de chuva, o qual é explicitamente exigido pelos membros da ASA aos beneficiados com cisternas nas reuniões prévias

à construção. Estas reuniões, em total de três, são obrigatórias para os futuros usuários das cisternas, têm duração de dois dias cada uma e são denominadas de reuniões de GRH - Gestão dos Recursos Hídricos. Com os dados obtidos se preenchia uma ficha de acompanhamento.

Coleta da água de chuva

Para determinar as características físicas e químicas da água da chuva na região e ter essa informação como padrão para comparar possíveis contaminações ao longo dos sistemas com e sem desvio, com e sem água de carro-pipa, foram realizadas duas coletas de água de chuva, descritas em Xavier *et al.* (2009). Foram utilizadas três bacias de ágata estéreis colocadas acima de bancos altos (80 cm de altura) para evitar respingos do solo. As coletas foram realizadas em diferentes épocas, uma durante o período de chuvas intensas (18/03/09) e a outra no início do período de verão (23/07/09). As análises microbiológicas não foram realizadas nas amostras do dia 23/07 porque chegaram ao laboratório após 24 horas de coletadas, fora do tempo hábil para esse tipo de análise (APHA/AWWA/WEF, 1998).

RESULTADOS

A qualidade física e química da água de chuva foi satisfatória nas duas coletas (Tabela 1), com todas as variáveis abaixo dos valores máximos permitidos para água de beber pela Portaria N° 518/04-MS, em vigência na época, substituída pela Portaria 2.914/2011-MS. Já os parâmetros microbiológicos indicaram leve contaminação.

Tabela 1 – Características físicas, químicas e microbiológicas da água da chuva em São João do Cariri-PB (18/03 e 23/07/09).

Parâmetros	Datas de coleta		VMP*
	18/03/2009	23/07/2009	
pH	6,22	6,47	6,0 -9,5
Turbidez (uT)	0,92	2,02	5,0
Cor aparente (uH)	2,8	4,7	15
SDT (mg/L)	46	68	1000
Coliformes totais (NMP/100mL)	93,0	NC	Ausência
<i>E.coli</i> (NMP/100mL)	11	NC	Ausência
Bactérias heterotróficas (UFC/mL)	25	NC	500

(VMP) *Valor Máximo Permitido na Portaria 518/04 – MS; (NC) não quantificado. Fonte: Projeto Cisternas (2007-2009).

A qualidade da água de chuva do mês de março foi melhor que a do mês de julho e atribuída às intensas chuvas nos dias anteriores à coleta de março, que limpam a atmosfera, enquanto que a coleta de julho foi realizada após alguns dias sem chuvas na região. Os resultados da qualidade física e química da água da chuva em São João do Cariri são semelhantes aos de outros trabalhos sobre água de chuva em áreas rurais distantes de fontes poluidoras (MAIER *et al.*, 1992; CUNHA e DALMAGO, 2000; TRESMONDI *et al.*, 2005).

As concentrações das bactérias heterotróficas totais foram bem mais baixas (20 vezes menores) que o máximo permitido pela Portaria 518/2004 – MS (e mantido na Portaria 2914/2011-MS). Coliformes totais e *Escherichia coli* deveriam estar ausentes das águas destinadas ao consumo humano, mas tiveram valores de 93,00 NMP/100 ml e 11,00 NMP/10 ml, respectivamente. Estes valores são considerados baixos para uma água que não tem recebido nenhum tratamento e fáceis de eliminar com simples cloração em águas de baixa turbidez, como as analisadas nesse trabalho.

A baixa contaminação com coliformes totais e *E.coli* pode ter origem em poeiras suspensas no ar e arrastadas pela chuva. A baixíssima concentração de bactérias heterotróficas totais reflete a escassa contaminação, que pode ter sido casual. É necessário maior quantidade de dados da qualidade da água de chuva da região para uma melhor caracterização microbiológica da mesma.

As cisternas foram construídas para armazenar água de chuva para beber, de melhor qualidade que as de açudes, carros-pipa, barreiros, etc. Entretanto foi observado que apenas três cisternas (SJ1, SJ4 e PB4) não receberam água de carro-pipa ao longo de todo o período de estudo (2007-2009). Essas informações foram obtidas mensalmente durante as conversas informais e confirmadas com a comparação entre os registros de chuva e volume das cisternas no período estudado. Nas cisternas SJC1, SJC4 e PB2 houve aumento do volume armazenado somente durante o período de chuvas e decréscimo na estiagem, o qual não ocorreu com todas as restantes. A água das três cisternas é utilizada apenas para consumo humano, cozinhar e para higiene pessoal por 4, 3 e 2 moradores, respectivamente. As três famílias confirmam que o volume coletado nas chuvas é suficiente para todo o período de estiagem se o consumo for controlado.

As águas das demais cisternas foram utilizadas para todos os afazeres domésticos. Como consequência, a água do período chuvoso não foi suficiente para satisfazer as necessidades durante a estiagem e o abastecimento de água por meio de carro-pipa foi utilizado em diferentes ocasiões. A metodologia usada para discriminar a origem da fonte de água se mostrou eficiente e de fácil aplicação.

Qualidade física e química da água armazenada nas cisternas com se sem desvios

A variação temporal da qualidade da água de janeiro/09 a setembro/09 nas 8 cisternas é apresentada em histogramas e em gráficos do tipo box plot, onde se comparam as duas épocas (dez/07- dez/08 e jan/09- jul/09) de desenvolvimento do Projeto Cisternas (2007-2009) . Também se destaca a influência da água de carro-pipa na qualidade da água das cisternas.

Todas as águas apresentaram pH dentro da faixa de VMP pela Portaria 518/04-MS (6,0 e 9,5, mantidos na Portaria 2.914/2011-MS) sem diferenças entre as cisternas com a água de chuva, de carro-pipa e de águas misturadas, nem entre as épocas de seca e de chuva ou com ou sem desvio das primeiras águas de chuva (Figuras 2, 3 e 4). A variação entre o pH da água de chuva antes da cisterna e o pH da água de chuva após armazenada na cisterna pode ser analisada comparando os

valores da água das cisternas SJC1, SJC4 e PB2, que somente contém água de chuva: os valores médios de 6,3 (água de chuva) subiram até 8 ou 8,5 após armazenadas. Esse aumento deve-se ao carbonato de cálcio, dissolvido do revestimento das paredes internas das cisternas, que eleva o pH da água tornando-a básica, diferente da água da chuva que é levemente ácida. Os valores de pH na faixa de 8 são frequentes nas águas de diversas cisternas do Nordeste Semiárido, como em Petrolina (BRITO *et al.*, 2005) e no norte de Minas Gerais (SILVA, 2006).

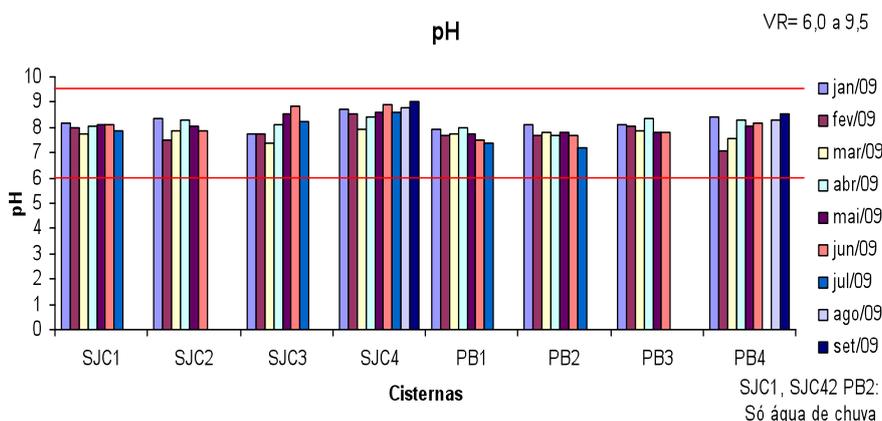
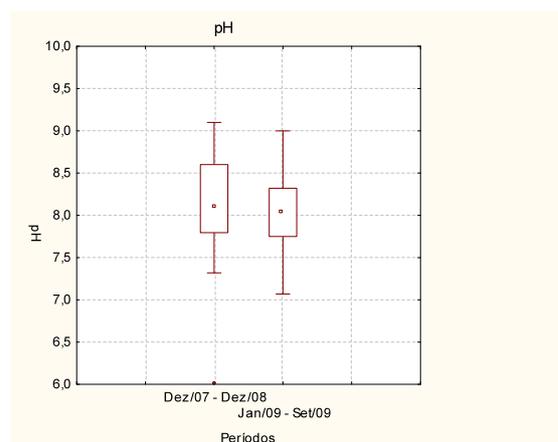
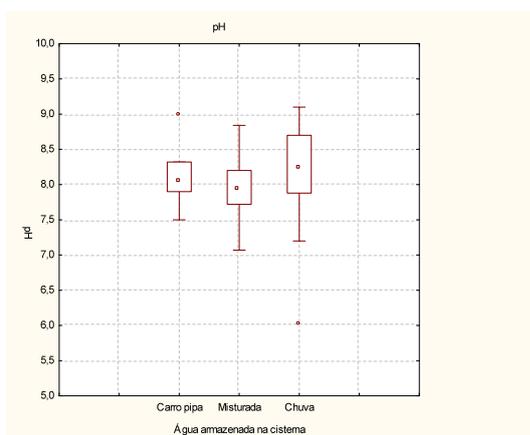


Figura 2 – Distribuição mensal de pH nas águas de cisternas (período de jan-set/09).



Figuras 3 e 4 – Gráficos box plot de pH comparando períodos de seca e de chuva e segundo o tipo de água armazenada nas oito cisternas (somente de chuva, de carro pipa ou misturada).

Para turbidez, a Portaria 518/04-MS (e atualmente a Portaria 2914/2011) determina VMP de 5,0 uT para amostras pontuais. Das amostras analisadas entre janeiro e setembro/2009, apenas uma apresentou turbidez acima do VMP: PB2 no mês de abril, com o menor volume acumulado (0,9 m³) o que indica concentração dos resíduos que foram sedimentando ao longo do tempo (Figura 5). Não houve diferenças significativas entre os valores de turbidez nos dois períodos de estudo (seca – chuva) nem quando consideradas as diferentes origens das águas: chuva, carro pipa ou águas misturadas. (Figuras 6 e 7). Houve valores ligeiramente mais elevados nas cisternas com água misturada, provavelmente porque com o maior fluxo de água durante as chuvas causou a suspensão dos sedimentos acumulados no fundo das cisternas.

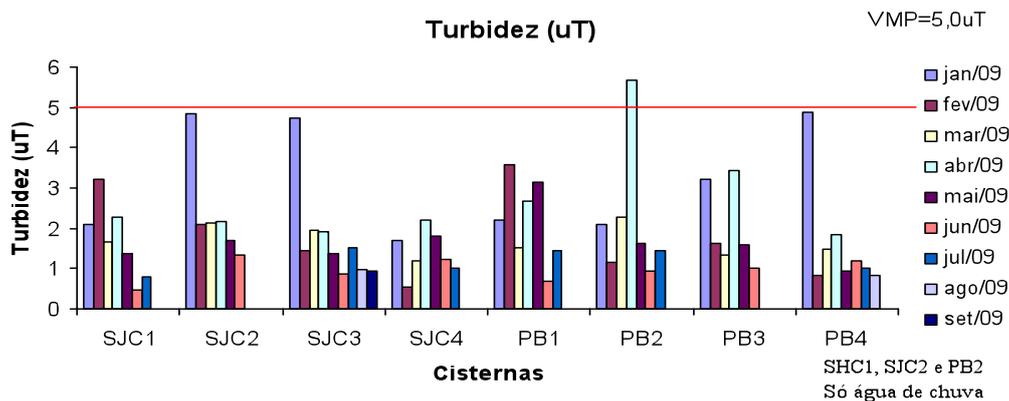
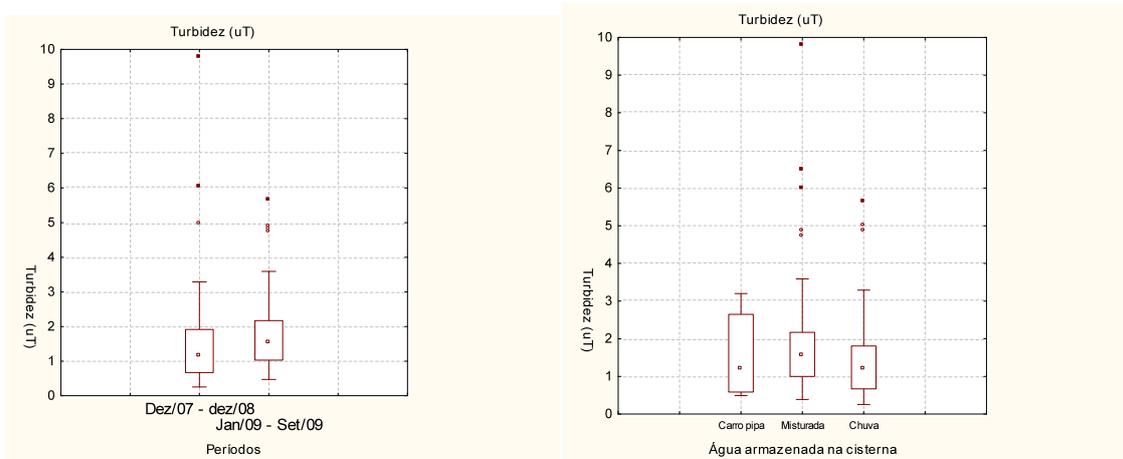


Figura 5 – Distribuição mensal de turbidez nas oito cisternas (período de janeiro-setembro/09).



Figuras 6 e 7 – Gráficos box plot de turbidez comparando períodos e tipo de água armazenada nas 8 cisternas.

As cisternas com apenas água de chuva e somente com água de carro-pipa tiveram valores semelhantes. Ao monitorar a água de 20 cisternas no município de Poço Redondo em Sergipe, Kato *et al.* (2006) observaram que 16 recebiam água de carro-pipa e a turbidez tinha valores semelhantes aos das cisternas com apenas água de chuva: média de 1,01 uT para água misturada e 0,8 uT para aquelas com água de chuva.

A origem da água e a época seca ou chuvosa também não elevaram os valores médios de cor aparente acima do VMP, de 15 uH (Portaria 518/04–MS e Portaria 2914/2011-MS). As águas das cisternas com somente água de chuva se mantiveram abaixo deste valor exceto nos meses de janeiro e abril, que tiveram precipitações pluviométricas mais intensas (Figura 8). As Figuras 9 e 10 evidenciam que os valores de cor aparente do período dezembro/07 a dezembro/08 foram inferiores de janeiro a setembro/09. As águas das cisternas que recebem carro-pipa tiveram média mais elevada (12 uH), quando comparada com cisternas com água misturada (11,2 uH) e apenas com água de chuva (10,8 uH).

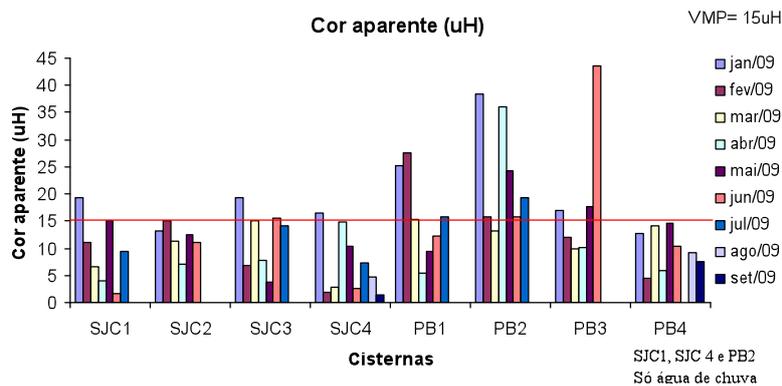
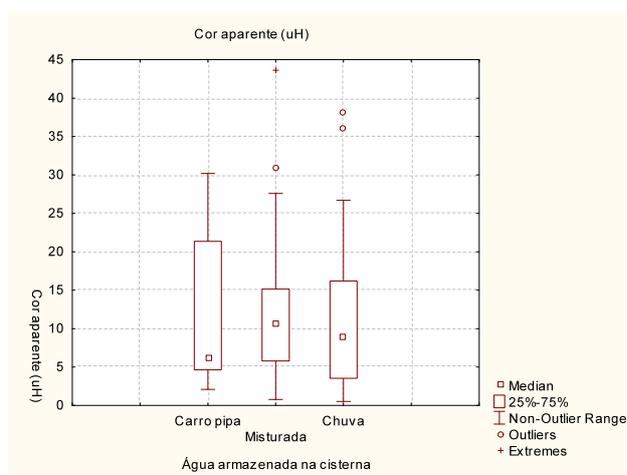
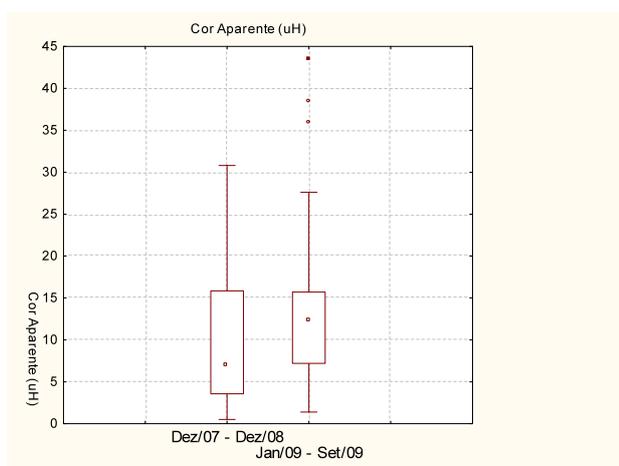


Figura 8 – Distribuição mensal de cor aparente nas águas de oito cisternas (período de janeiro-setembro/09).



Figuras 9 e 10 – Gráficos box plot de cor aparente comparando períodos e tipo de água armazenada nas oito cisternas.

Os Sólidos Dissolvidos Totais (SDT) em água potável são constituídos principalmente por sais inorgânicos e restos microscópicos de matéria orgânica, causam turbidez e podem interferir na desinfecção (SAWYER *et al.*, 1994; LIBÂNIO, 2008). Este parâmetro foi inferior ao VMP da Portaria N° 518/04 - MS e da portaria atual, de 1000 mg/L. As cisternas com apenas água de chuva apresentaram menores valores entre janeiro e setembro 2009 (Figura 11). As demais cisternas tiveram picos quando houve abastecimento de água de carro-pipa e nos meses seguintes diminuíram as concentrações de SDT, às vezes pela mistura com água de chuva. O valor médio de todas as amostras do primeiro e segundo período foi semelhante (Figuras 12 e 13). As cisternas com apenas água de carro-pipa apresentaram valores mais elevados, seguidas pelas cisternas com água misturada e menores ainda nas cisternas com apenas água de chuva. A redução de SDT das cisternas com somente água de carro-pipa para as cisternas com somente água de chuva foi em média de 59%.

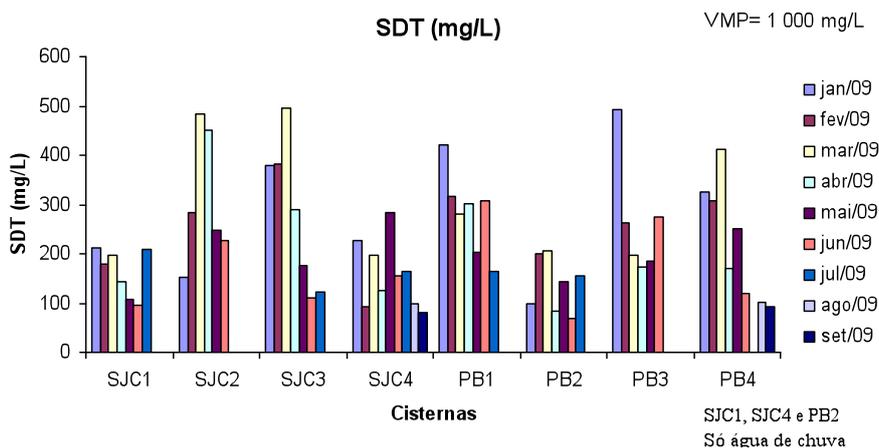
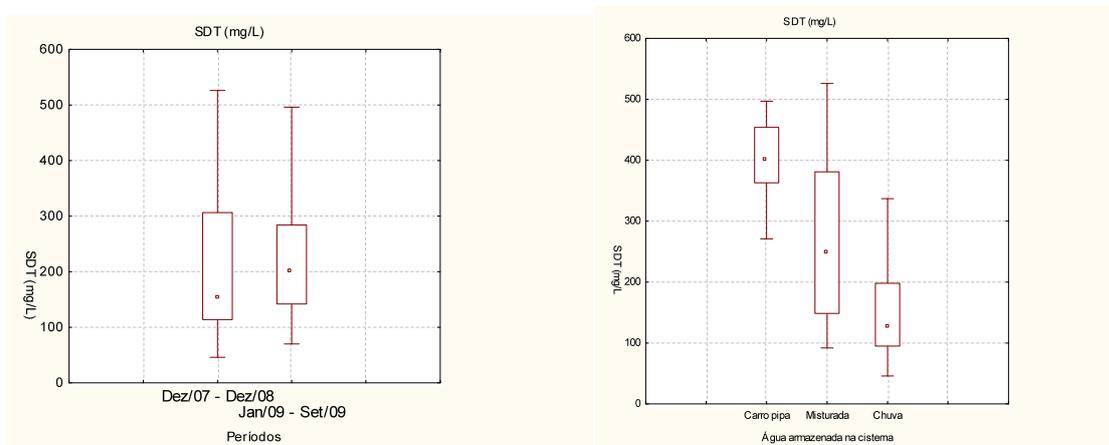


Figura 11 – Distribuição mensal de SDT nas águas de oito cisternas (período de jan-set/09).



Figuras 12 e 13 – Gráficos box plot de SDT comparando períodos e tipo de água armazenada nas oito cisternas.

Qualidade microbiológica da água armazenada em cisternas com e sem desvio

As águas armazenadas nas oito cisternas não satisfizeram as condições microbiológicas da Portaria 518/04 para água potável, que exige ausência de coliformes totais e *E.coli* nem na legislação atual, que mantém esses valores. Todas as amostras analisadas em 2009 apresentaram coliformes totais com média de 2.084 NMP/100 ml. As cisternas SJC4 e PB4 com sistemas de desvio das primeiras águas tiveram contaminação levemente menor (Figura 14). No primeiro período os valores médios de coliformes totais (1.811 NMP/100 ml) foram ligeiramente inferiores aos do segundo (2.084 NMP/100 ml) e as cisternas com águas misturadas tiveram a pior qualidade microbiológica (Figuras 15 e 16). Esses valores são extremamente altos, limitam os usos dessas águas e, conseqüentemente, não são aptos para consumo nem para banho.

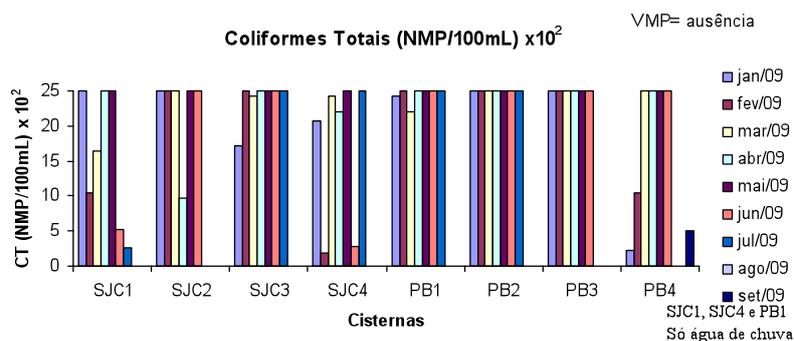
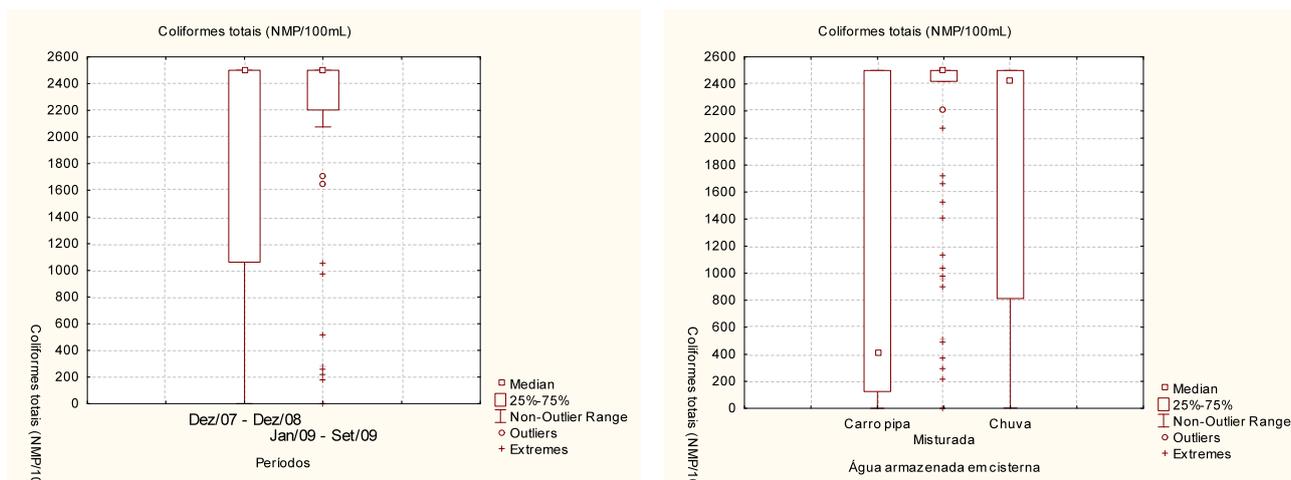


Figura 14 – Distribuição mensal de coliformes totais nas águas de oito cisternas (período de janeiro-setembro/09).



Figuras 15 e 16 – Gráficos box plot de coliformes totais comparando períodos e tipo de água armazenada nas oito cisternas.

A presença de *E.coli* confirma a contaminação fecal por animais de sangue quente. Todas as amostras apresentaram *E.coli* (Figura 17). Os menores valores corresponderam às cisternas SJC1 e SJC4 com apenas água da chuva. As demais tiveram a influência da água de carro-pipa. A contaminação por *E.coli* manteve-se em níveis semelhantes nos dois períodos com menor dispersão no primeiro, em 2008 (Figuras 18 e 19).

Valores superiores a 1.000 e a 2.000 NMP/100 ml de *E.coli* foram observados em alguns meses em várias cisternas. Comparando a qualidade bacteriológica dessas águas com aquelas da classificação de águas do Território Nacional, da Resolução CONAMA 357/2005, correspondem às águas de classe 2 as primeiras e a classe 3 as segundas, somente aptas para consumo humano após tratamento convencional ou avançado. Consultando-se a Resolução CONAMA 274/2000 que define a qualidade das águas destinadas à balneabilidade, somente poderiam ser usadas para contato primário aquelas com concentração de *E.coli* inferior a 1.000 NMP/100 ml.

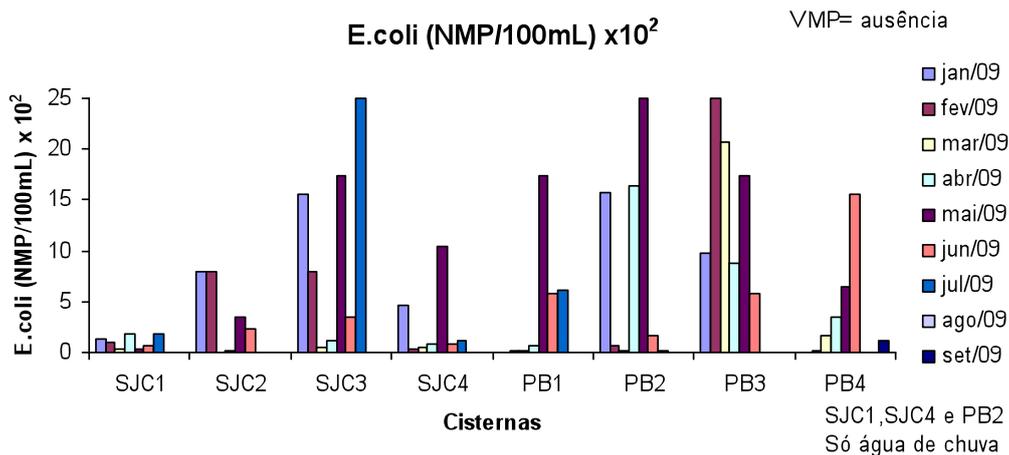


Figura 17 – Distribuição mensal de *E. coli* nas oito cisternas (período de janeiro a setembro /09).

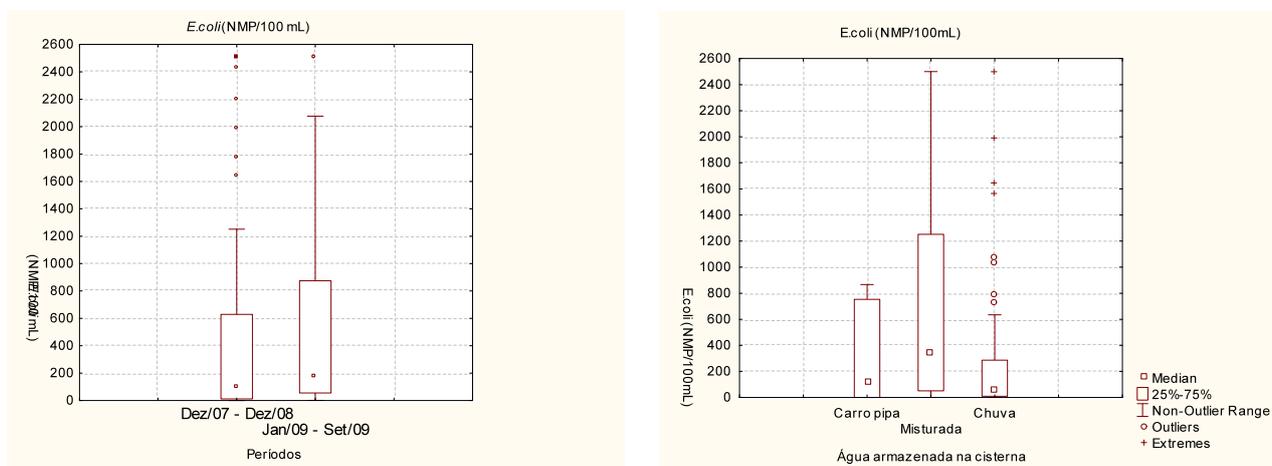


Figura 18 e 19 – Gráficos box plot de *E. coli* comparando períodos e tipo de água armazenada nas oito cisternas.

As bactérias heterotróficas totais seguiram as tendências dos coliformes, valores superiores aos VMP da Portaria 518/04–MS, de 500 UFC/100 ml (Figura 20), e igual a 2008, embora valores menores nas cisternas com águas da chuva (Figuras 21 e 22).

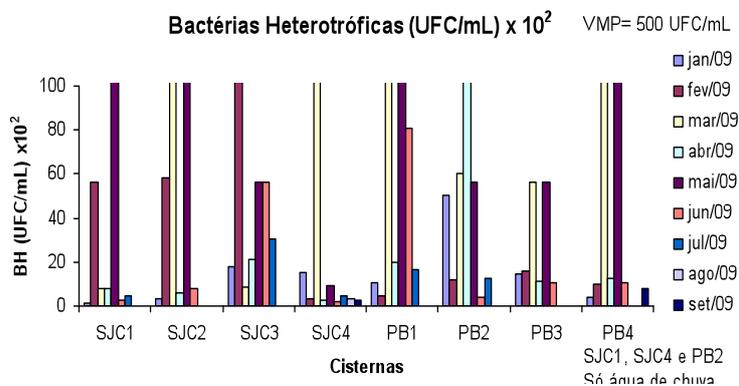


Figura 20 – Distribuição mensal de Bactérias heterotróficas totais nas águas de oito cisternas (período de janeiro-setembro/09).

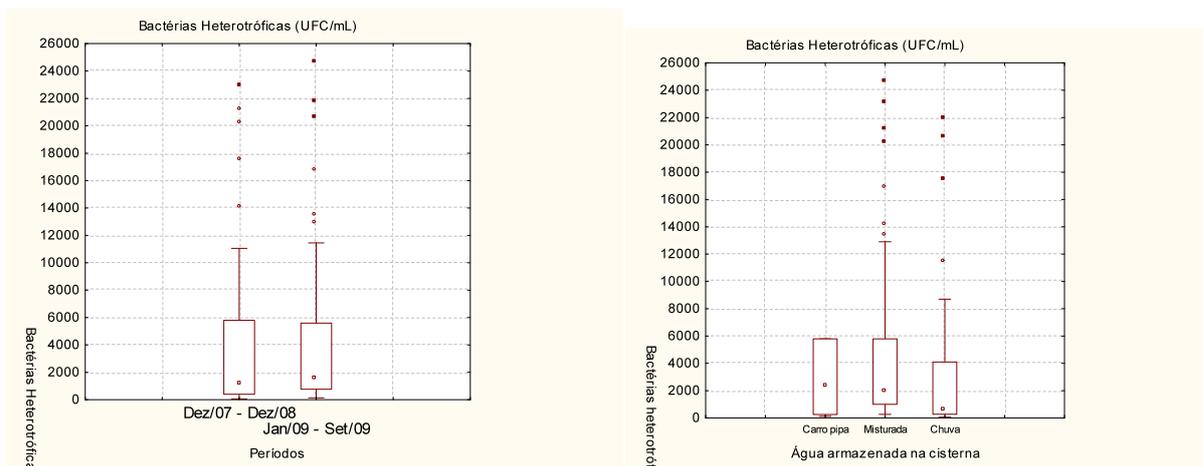


Figura 21 e 22 – Gráficos box plot de Bactérias Heterotróficas Totais comparando períodos e o tipo de água armazenada.

Qualidade parasitológica da água armazenada nas cisternas

Em cada cisterna foram realizadas 6 determinações de parasitos (ovos de helmintos e cistos de protozoários) identificados ao nível de gênero entre julho/08 e maio/09. A Tabela 2 mostra a frequência absoluta (quantas vezes cada parasito foi observado no total de 6 amostras) e a frequência relativa (percentagem de amostras que apresentaram um ou mais parasitos).

Apenas em SJC1 e SJC4, cisternas que armazenam água de chuva, não houve incidência de parasitos. Foram identificados cistos de *Giardia sp* em SJC2 e SJC3 em 50% das amostras e *Entamoeba coli* em SJC2. Na maioria foram observados mais de um gênero de parasitos. PB1 e PB2 apresentaram as piores condições de higiene: em 83% das amostras (5 das 6) de PB1 se observaram cistos e ovos: *Giardia sp* (2 vezes), *Trichuris sp* (1 vez) e *Entamoeba coli* (três vezes). Os parasitos encontrados podem ser de origem animal ou humano, sendo quase impossível identificar no microscópio óptico sua procedência. Podem ser introduzidos nas cisternas com a água do carro-pipa, deixados por pequenos animais na área de captação – telhados e arrastados com a água de escoamento e ou pelo manejo inadequado dos sistemas, em particular os baldes usados para retirar a água, que são depositados no chão de terra, onde frequentemente há circulação de animais. Cistos de *Entamoeba coli* em PB4 apareceram em julho de 2008, e depois de instalado o sistema de desvio das primeiras águas não foi mais detectado. Cistos de protozoários e ovos de helmintos podem não ser destruídos na desinfecção com cloro mas podem ser eliminados através da fervura da água para uso doméstico por cinco minutos (CIMERMAN, 1999; REY, 2002; NEVES, 2005). Trabalhos de Texeira e Heller (2004) em assentamentos de Juiz de Fora-MG encontraram 21% de incidência de helmintoses com prevalências de 14,74%, 11,02%, 1,99% e 1,33%, para *Ascaris lumbricoides*, *Trichuris trichiura*, ancilostomídeos e *Strongyloides stercoralis* respectivamente. As variáveis relacionadas às enfermidades detectadas foram idade da criança, às condições sócio-econômicas o ambiente onde vive a criança (qualidade da água e deficiências no esgotamento sanitário). Xavier *et al.* (2008) detectaram ovos de helmintos e cistos de protozoários patogênicos

em águas de cisternas do interior pernambucano, em comunidades com incidência alta de parasitoses.

Tabela 2 – Frequências relativas e absolutas de parasitos em água das 8 cisternas (julho/08-maio/09).

Cisternas	Gênero/Espécie	Frequência absoluta por gênero (1)	Frequência relativa total (%)
SJC1	ND	0	0
SJC2	Cisto de <i>Giardia SP</i>	1	50
	Cisto de <i>Entamoeba coli</i>	2	
SJC3	Cisto de <i>Giardia SP</i>	3	50
SJC4	ND	0	0
PB1	Cisto de <i>Giardia sp</i>	2	83
	Ovo de <i>Thichuris SP</i>	1	
	Cisto de <i>Entamoeba coli</i>	3	
PB2	Cisto de <i>Entamoeba coli</i>	1	33
	Ovo de <i>Ascaris sp.</i>	2	
PB3	Cisto de <i>Entamoeba coli</i>	1	17
PB4	Cisto de <i>Entamoeba coli</i>	1	17

Legenda: ND = Não detectado ; (1) Número total de amostras. N=11

Qualidade da água de cisternas com incorporação de desvios

Durante os meses de janeiro e fevereiro iniciaram as primeiras chuvas que são importantes para limpar a maior parte da sujeira da área de captação. As variáveis de qualidade medidas antes e depois da incorporação dos desvios mostram boa redução de turbidez e baixas de cor e SDT. Ressalta-se que os valores médios dos parâmetros físicos e químicos de qualidade estiveram abaixo dos VMP da Portaria 518/04-MS em ambas as cisternas, embora PB4 recebeu água de carro-pipa. Já os parâmetros microbiológicos apresentaram-se em desacordo com a citada Portaria, nos dois sistemas. Houve elevada contaminação e escassa redução nos desvios: a redução foi nula com DFH e muito baixa ou nula com DVC.

O comportamento errático de coliformes totais, *E.coli* e bactérias heterotróficas totais com se pode associar à falta de limpeza sistemática dos desvios (Tabela 3). Os sistemas de desvios foram instalados nas residências e entregues para os próprios moradores realizarem o manejo, com orientações sobre a importância de seu esvaziamento depois de cada evento chuvoso. No entanto, durante as visitas de campo, em diversas oportunidades foi observado que os moradores não seguiam essa prática. Novas recomendações foram feitas, mas não houve apropriação da importância dessa ação.

Destaca-se que em experimentos pilotos sob controle de manejo os mesmos desvios apresentaram excelentes resultados para os parâmetros físicos, químicos e microbiológicos. Xavier (2010) avaliou os desvios como importante barreira sanitária física na remoção de *E.coli*, com redução média do desvio para cisternas pilotos na ordem de 80% para o princípio do fecho hídrico - DFH e de 50% para o modelo piloto com o desvio de vasos comunicantes - DVC. Souza *et al.*

(2011) obtiveram resultados semelhantes em experimentos pilotos na zona rural de Caruaru, pois observaram melhores remoções com o sistema de DFH e não detectaram contaminação fecal usando chuva artificial com água potável em modelos pilotos. Os autores ponderam que se essa contaminação acontece com água de chuva deve-se a descuidos com a manutenção e o manejo dos sistemas de captação e armazenamento.

Tabela 3 – Caracterização da qualidade física, química e microbiológica da água de duas cisternas (SJC4 e PB4) antes e depois da instalação de desvios automáticos das primeiras águas de chuva e eficiência dos mesmos.

Parâmetros	SJC4 - (DFH)			PB4 - (DVC)		
	Antes do DFH (1)	Depois do DFH(1)	Redução média (%)	Antes do DVC(1)	Depois do DVC(1)	Redução média (%)
pH	8,74	8,60	1,6	7,74	8,05	NR
Turbidez (uT)	1,38	1,28	7,2	3,00	1,52	49,3
Cor aparente (uH)	6,31	6,94	NR	8,30	9,84	NR
SDT (mg/l)	161,53	158,44	1,9	232,40	221,70	4,6
Coliformes totais (NMP/100 ml)	1.064,00	1.520,00	NR	1.700,00	1.682,00	1,1
<i>E.coli</i> (NMP/100 ml)	17,00	234,00	NR	145,00	409,00	NR
Bactérias heterotróficas totais (UFC/ml)	1.470,00	1.743,00	NR	5.661,00	4.031,00	28,8

Legenda: (1) valores médios; NR: Não houve redução.

CONCLUSÕES

A água da chuva nas áreas rurais do semiárido brasileiro é de excelente qualidade. A adoção de múltiplas barreiras sanitárias ao longo do sistema de captação e armazenamento em cisternas é fundamental para fornecer água segura para o consumo humano. Esse processo se inicia com a higiene da área de captação (telhados) seguido pelo desvio das águas das primeiras chuvas e termina com a desinfecção da água antes de seu consumo para eliminar a contaminação microbiana. O uso de desvios se mostrou útil para diminuir turbidez e cor, parasitos, entre outros. No entanto não foi possível observar a mesma eficácia para bactérias coliforme, *E.coli* e bactérias heterótroficas.

Neste trabalho as águas armazenadas nas cisternas apresentaram qualidade bastante inferior à água da chuva da região, associada com a higiene das cisternas, à origem da água e à composição química do revestimento interno das cisternas que aumenta o pH. No entanto, a maioria das variáveis físicas e químicas estudadas atendem os critérios de potabilidade da Portaria N° 518/2004-MS (e da atual Portaria 2914/2011). A contaminação microbiana foi elevada, sem condições de essas águas serem consumidas sem, pelo menos, simples desinfecção doméstica (cloração, fervura

etc.). Os valores de turbidez podem ser reduzidos por filtração simples o que facilita os efeitos da desinfecção com cloro.

Os elevados valores de coliformes totais, *E.coli* e bactérias heterotróficas totais se associaram às condições deficientes de manejo e das estruturas, assim como ao tipo de água armazenada, embora este último não foi o fator mais importante. Ovos e cistos de parasitos em 75% das águas armazenadas é preocupante, com destaque para os cistos de *Giardia sp* e ovos dos helmintos *Thichuris sp* e *Ascaris sp*. Nos sistemas com desvios automáticos houve remoção de parasitas.

As cisternas com incorporação de desvios das primeiras águas tiveram melhoria da qualidade, com destaque do sistema DFH, que apresentou maior eficiência. Estas eficiências poderiam ser maiores se houvesse limpeza dos desvios por parte dos moradores que não se apropriaram dos conceitos de qualidade da água e de sua relação com o manejo que inclui a manutenção higiênica dos desvios. O DFH oferece além da maior eficiência, maiores facilidades de limpeza.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o suporte financeiro do CT-Hidro e FINEP, às bolsas concedidas pelo CNPq e pela CAPES, às comunidades da zona rural das áreas estudadas e à prefeitura do município de São João do Cariri.

BIBLIOGRAFIA

- AMORIM, M C.; PORTO, E R. (2001). “Avaliação da qualidade bacteriológica das águas de cisternas: estudo de caso no município de Petrolina” in Anais do 3º Simpósio Brasileiro de Captação de Água de Chuva no Semi-Árido, Campina Grande.
- ANDRADE NETO, C. O. (2003). “Proteção sanitária das águas de cisternas rurais” in Anais do 4º Simpósio Brasileiro de Captação e Manejo de Água de Chuva, Juazeiro.
- ANDRADE NETO, C. O. (2004). “Proteção sanitária das cisternas rurais” in Anais do Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Natal.
- APHA/AWWA/WEF - AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. (1998) *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 20th ed. APHA-WEF Washington.
- BRASIL. (2000). *Resolução CONAMA 274/2000*. Ministério do Meio Ambiente, Brasília.
- BRASIL. (2011). *Portaria 2914/11*. Ministério da Saúde, Brasília.
- BRASIL. (2004). *Portaria n° 518/04*. Ministério da Saúde, Brasília.
- BRASIL. (2005). *Resolução CONAMA 357/05*. Ministério do Meio Ambiente, Brasília.
- BRITO, L. T. de L.; PORTO, E. R.; SILVA, A. de S.; SILVA, M. S. L. da; HERMES, L. C.; MARTINS, S. S. (2005). “Avaliação das características físico-químicas e bacteriológicas das águas de cisternas da comunidade de Atalho, Petrolina – PE” in Anais do Simpósio Brasileiro de Captação e Manejo de Água de Chuva, Teresina.
- CIMERMAN, B.; CIMERMAN, S. (1999). *Parasitologia humana e seus fundamentos gerais*. Ed. Atheneu, São Paulo.
- CUNHA, G. R.; DALMAGO, G. A. (2000). “Informações sobre pH de águas de chuva, em Passo Fundo, RS”. *Revista Brasileira de Agrometeorologia* 8(2), pp. 325-329.

- GNADLINGER, J. (2007). “Rumo a um padrão elevado de qualidade de água de chuva coletada em cisternas no semi-árido brasileiro” in Anais do 6º Simpósio Brasileiro de Captação e Manejo de Água de Chuva, Belo Horizonte.
- KATO, M. T.; PERAZZO, G. M.; FLORÊNCIO, L.; SANTOS, S. G. (2006). “Qualidade de água de cisternas utilizada para fins de consumo humano no município de Poço Redondo – SE” in Anais do III Seminário Internacional de Engenharia de Saúde Pública, FUNASA.
- KÜSTER, A.; MARTÍ, J. F.; NOGUEIRA, L. A. H.; TONIOLO, E. R.; CAMPELLO, F. B.; JULIO PAUPITZ, J.; JÖRGGDIETER ANHALT, J. (2006). *Tecnologias apropriadas para terras secas - manejo sustentável de recursos naturais em regiões semi-áridas no Nordeste do Brasil*. Fundação Konrad Adenauer e Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ). Disponível online em www.sustentavel.inf.br/anexos/publicacao/tec_ter_sec_miolo.pdf.
- LIBÂNIO, M. (2008). *Fundamentos de qualidade e tratamento de água*. 2º Ed. Ed. Átomo.
- MAIER, M. L.; TAKINI, M. MIYAMARU, L. L. (1992). “Alguns aspectos da composição da água da chuva”. *Acta Limmol. Brasil*. IV.
- MEIRA FILHO, A. S.; NASCIMENTO, J. W.; PAES, B. P.; LIMA, V. L. A. (2005). “Telhados para captação de água de chuva no semi-árido” in Anais do 5º Simpósio Brasileiro de Captação e Manejo de Água de Chuva. Teresina.
- NEVES, D. P. (2005). *Parasitologia humana*. 11º edição, Ed. Atheneu, São Paulo.
- REY, L. (2002). *Bases da Parasitologia Médica*. 2º edição, Ed. Guanabara Koogan, Rio de Janeiro.
- RITCHIE, L. S. (1948). “An ether sedimentation technique for routine stool examination”. *Bulletin of the United States Army Medical Department* 8(326).
- RODRIGUES, H. K.; SANTOS, A. L.; BARCELOS, H. P.; PÁDUA, V. L. (2007). “Dispositivo automático de descarte da primeira água de chuva” in Anais do 6º Simpósio Brasileiro de Captação e Manejo de Água de Chuva, Belo Horizonte.
- SAWYER, C. N.; McCARTY, P. L.; PARKIN, G.F. (1994). *Chemistry for environmental engineering*, 4. ed. New York: McGraw-Hill.
- SCHÜRING, K.; SCHWIENSTEK, S. (2005). *Quality of rainwater for domestic purposes harvested in different catchment systems within the semi-arid region of northeast Brazil Project Report*. Convênio Universidade de Ciências Aplicadas de Bremen, Alemanha, e Universidade Federal de Pernambuco, Brasil.
- SILVA, C. V. (2006). *Qualidade da água de chuva para consumo humano armazenado em cisternas de placa. Estudo de caso: Araçuaí, MG*. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG.
- SOUZA, S.H.B.; MONTENEGRO, S.G.L.; SANTOS, S.M.S.; PESSOA, S.G.S.; NÓBREGA, R.L.B. (2011). “Avaliação da Qualidade da Água e da Eficácia de Barreiras Sanitárias em Sistemas para Aproveitamento de Água de Chuva”. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos* 16(3).
- TAVARES, A. C. (2009). *Aspectos físicos, químicos e microbiológicos da água armazenada em cisternas de comunidades rurais do semi-árido paraibano*. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – PRODEMA, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, PB.
- TEIXEIRA, J. C.; HELLER, L. (2004). “Fatores ambientais associados às helmintoses intestinais em áreas de assentamento subnormal, Juiz de Fora, MG”. *Revista Eng. Sanitária e Ambiental* 9(4).
- TRESMONDI, A. C. C. L.; TOMAZ, E; KRUSCHE, A. V. (2005). “Avaliação de pH e composição iônica das águas de chuva em Paulínia-SP”. *Eng. Ambiental* 2(1), pp. 070-084.
- UNITED NATIONS CHILDREN'S FUND (UNICEF). (2008). *Unicef Handbook on Water Quality*. New York.

XAVIER, R. P. (2010). *Influência de barreiras sanitárias na qualidade da água de chuva armazenada em cisternas no semiárido paraibano*. Dissertação (Mestrado - Curso de Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental). Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, PB.

XAVIER, R. P.; VITAL, E. A. C.; PEREIRA, L. S.; IRMÃO, J. I.; ROCHA, F. J. S.; CALAZANS, G. M. T. (2008). “*Pesquisa de coliformes e parasitos em água de cisternas nas comunidades rurais do município de Tuparetama – PE*” in Anais do IX Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, Salvador.

XAVIER, R. P.; NÓBREGA, R. L. B.; MIRANDA, P. C.; GALVÃO, C. O.; CEBALLOS, B. S. O. (2009). “*Avaliação da eficiência de dois tipos de desvios das primeiras águas de chuva na melhoria da qualidade da água de cisternas rurais*” in Anais do 7º Simpósio Brasileiro de Captação e Manejo de Água de Chuva, Caruaru.