

## Artigo Técnico

# Potencialidade de uso não potável de água de lagoa de detenção

*Potencial for non-potable use of detention ponds water*

Selma Thais Bruno Silva<sup>1\*</sup> , Cícero Onofre Andrade Neto<sup>1\*\*</sup>,  
Maria Del Pilar Durante Ingunza<sup>2</sup> 

## RESUMO

As águas de lagoas de detenção geralmente não são utilizadas produtivamente e o seu potencial é desperdiçado. Por estarem disseminadas nas cidades, a utilização dessas águas pode reduzir os custos com transporte de água, além de permitir a preservação de águas de melhor qualidade para fins mais nobres. Algumas das possíveis utilizações são na irrigação de áreas verdes; em caldeiras, torres de resfriamento e outros usos industriais; na compactação do solo; na limpeza de vias públicas; na piscicultura; em sistemas de combate a incêndio; etc. A qualidade dessas águas sofre influência de lançamentos indevidos de esgotos sanitários na rede de drenagem. O estudo foi realizado em seis lagoas de detenção e infiltração do sistema de drenagem de Natal (RN), no Nordeste brasileiro, com o objetivo de verificar as condições de uso não potável de suas águas no meio urbano. Observou-se que as águas de algumas lagoas estudadas apresentaram compatibilidade para uso em piscicultura e em torres de resfriamento, enquanto outras requerem tratamento prévio de suas águas para posterior utilização, para diminuir, principalmente, organismos patogênicos.

**Palavras-chave:** uso de águas pluviais; qualidade de água; usos não potáveis; lagoas de detenção.

## ABSTRACT

Detention reservoirs waters are generally not used productively and their potential is wasted. By their scattered location in the cities, their use can decrease water transport costs, and also allow water to be preserved for higher quality water uses. Some of their possible uses are irrigation of green areas, use in boilers, cooling towers and other industrial uses, in soil compaction, cleaning of public areas, in pisciculture, in fire fighting systems, etc. The improper dumping of water sewage into the drainage system influences the quality of this water. The study was performed in six infiltration and detention reservoirs of the Natal drainage system, northeastern Brazil, to verify the non-potable use condition of these waters in the urban environment. It was observed that some reservoir waters were compatible to be used in pisciculture and cooling towers and others require previous treatment, to decrease, mainly, pathogenic organisms before being used.

**Keywords:** rainwater; water quality; non-potable uses; detention ponds.

## INTRODUÇÃO

A água proveniente do escoamento superficial pode incorporar muitos poluentes, que vão variar em função do nível de poluição presente na bacia hidrográfica.

Helmreich e Horn (2009) citam a possibilidade de contaminação por metais pesados e compostos orgânicos no ar, provenientes dos escapamentos dos veículos ou lançamentos das chaminés de indústrias, em áreas urbanas e industrializadas. Ainda na área urbana, Ouyang *et al.* (2015) indicam a presença de amônia, enxofre e zinco nas águas de chuva. Sánchez, Cohim e Kalid (2015) também relatam que é considerável a deposição úmida de sulfatos lançados em áreas urbanas, possivelmente devido à queima de combustíveis fósseis. Em regiões subdesenvolvidas,

onde há baixa cobertura de coleta de esgotos sanitários, é comum a presença de indicadores microbiológicos na água do escoamento superficial.

A reserva de água de chuva em lagoas de detenção pode contribuir com a decantação de poluentes incorporados durante o escoamento superficial ou a contaminação atmosférica; sendo assim, tais dispositivos desempenham não só a função clara de contenção de cheias, como também auxiliam na melhoria da água reservada. Dessa forma, é possível propor utilizações produtivas para essa água.

No Brasil, mesmo em municípios de pequeno e médio portes, é comum a utilização desses reservatórios — ou como são comumente chamados, piscinões —, que são construídos para funcionar como um recurso auxiliar na proteção contra inundações (ZANELLA, 2015).

<sup>1</sup>Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte - Natal (RN), Brasil.

<sup>2</sup>Universidade Federal do Rio Grande do Norte - Natal (RN), Brasil.

\*Autor correspondente: thais.bruno@ifrn.edu.br

\*\*In memoriam

Recebido: 01/02/2018 - Aceito: 06/08/2018 - Reg. ABES: 190821

Segundo Secretaria Municipal de Obras Públicas e Infra-Estrutura (SEMOPI, 2009), lagoa de retenção é a estrutura que se destina a acumular temporariamente água pluvial, amortecendo as vazões de cheias e reduzindo os riscos de inundação a jusante.

Dessa maneira, o aproveitamento de água de lagoa de retenção do sistema de drenagem destaca-se como uma alternativa interessante de aproveitamento de água no meio urbano, resolvendo não só problemas relacionados a inundações, como também contribuindo para a conservação de fontes de água para fins nobres.

O armazenamento para posterior uso de água de chuva, tanto em lagoas naturais quanto em dispositivos de contenção, tem se mostrado prática comum em diversos países, como Alemanha, Japão, Canadá, Austrália e Estados Unidos.

Begum e Rasul (2009) avaliaram a melhoria da qualidade de água de chuva após passagem por dispositivo de acumulação na Austrália. Os valores de salinidade, condutividade elétrica e pH mostraram viabilidade de uso da água para irrigação.

Dependendo das condições das propriedades da água de chuva armazenada nos reservatórios, são necessários dispositivos de melhoria da sua qualidade e também tratamento em níveis primários, secundários ou terciários, para posterior uso.

Um exemplo de dispositivo de melhoria da qualidade de água de chuva é chamado em inglês de *green gully*. Este possui como objetivo principal a coleta de água de chuva nas rodovias e, através de adequados tratamentos, torna-a adequada para a utilização em irrigação de vegetação situada em margens ou canteiros de estradas (BEGUM; RASUL; BROWN, 2008).

A preservação da qualidade da água armazenada nos dispositivos de acumulação é importante não apenas por influenciar as possibilidades de utilização produtiva dessas águas, como também para manter no meio urbano lagoas artificiais que, segundo Wendel, Downs e Mihelcic (2011), oferecem benefícios sociais, ambientais e econômicos; incluem a promoção de atividade física no seu entorno; aumentam o controle do escoamento das águas pluviais, a recarga de aquífero e o habitat para espécies animais; entre outros.

A qualidade da água armazenada em lagoa de retenção deve dar o direcionamento para os usos possíveis; tendo isso em vista, deve-se observar a variação de sua qualidade ao longo do tempo, assim como conhecer e coibir as atividades exercidas nas bacias hidrográficas onde estão inseridas que possam comprometer sua qualidade.

Água de chuva armazenada em dispositivo de acumulação no Brasil geralmente não é tratada para posterior uso e, além disso, a sua qualidade ainda sofre influência de lançamento indevido de esgotos domésticos que são dispostos nas vias públicas e acabam atingindo os dispositivos de drenagem e, posteriormente, as águas armazenadas nas lagoas ou diretamente os corpos aquáticos.

Também não existem, no país, regulamentos que estabeleçam critérios e padrões para reúso de água, apesar de orientações serem observadas em norma técnica (ABNT, 1997). Em relação à água de chuva, recentemente algumas legislações estaduais estimulam seu uso e foi acrescido, nos objetivos da Política Nacional de Recursos Hídricos, o aproveitamento de água de chuva (BRASIL, 2017). Entretanto, avanços mais expressivos de aplicação da norma ou legislação precisam ser alcançados no país.

Muitas recomendações adotadas no Brasil para uso urbano não potável de águas são baseadas em estudos internacionais de reúso de esgoto doméstico, considerados bastante restritivos quando adotados para utilização de água de drenagem.

Bastos *et al.* (2008) sugeriram diretrizes de qualidade microbiológica de esgotos sanitários tratados para reúso agrícola, piscícola e urbano, com o intuito de fornecer subsídios à regulamentação do reúso de água no Brasil. Para irrigação, os valores de coliformes termotolerantes sugeridos variam entre  $1 \times 10^3$  e  $1 \times 10^4$  UFC.100 mL<sup>-1</sup> e  $\leq 1$  ovo de helminto.litro<sup>-1</sup>; para uso piscícola, a concentração de coliformes termotolerantes recomendada varia entre  $1 \times 10^3$  e  $1 \times 10^4$  UFC.100 mL<sup>-1</sup> e  $\leq 1$  ovo de helminto.litro<sup>-1</sup>; e, para usos urbanos, os valores de coliformes termotolerantes variam de  $\leq 200$  a  $1 \times 10^4$  UFC.100 mL<sup>-1</sup> e  $\leq 1$  ovo de helminto.litro<sup>-1</sup>.

Uma medida inicial para o processo de reaproveitamento deve ser a obtenção de informações acerca da qualidade da água de lagoas de drenagem. Alguns estudos realizados no Brasil são apresentados a seguir.

Righetto, Moreira e Sales (2009) realizaram estudo em uma lagoa de retenção e infiltração em Natal (RN) e obtiveram os seguintes valores medianos: 7,2 de pH; 95,9  $\mu$ S.cm<sup>-1</sup> de condutividade elétrica (CEa); 25,7 mg.L<sup>-1</sup> de demanda química de oxigênio (DQO); 0,9 mg.L<sup>-1</sup> de nitrato; e  $1,7 \times 10^3$  UFC.100 mL<sup>-1</sup> de coliformes termotolerantes.

Porto, Martins e Armelin (2009) constataram os seguintes valores médios aproximados em águas de reservatório de contenção de cheias em São Paulo: DQO entre 50 e 150 mg.L<sup>-1</sup> e concentração de coliformes termotolerantes situada entre cerca de  $5 \times 10^5$  e  $1,5 \times 10^6$  UFC.100 mL<sup>-1</sup>.

Campana, Bernardes e Silva Júnior (2007) realizaram estudo em duas lagoas de retenção e retenção em Brasília. Em uma das lagoas — a alagada —, constataram os seguintes valores médios para os parâmetros de qualidade das águas: 6,7 de pH; 60,88  $\mu$ S.cm<sup>-1</sup> de CEa; 55,28 mg.L<sup>-1</sup> de DQO; 95,1 mg.L<sup>-1</sup> de sólidos suspensos totais (SST); 1,1 mg.L<sup>-1</sup> de nitrato; e  $7 \times 10^4$  UFC.100mL<sup>-1</sup> de coliformes termotolerantes.

O presente estudo foi realizado em Natal (RN), no Nordeste brasileiro. Há, na cidade, a formação de bacias de drenagem fechadas, com conversão do fluxo gerado para depressões que se transformam em lagoas em períodos de forte precipitação. Muitas lagoas são formadas naturalmente, em função do relevo ondulado de formação de dunas e das condições do litoral da cidade (RIGHETTO *et al.*, 2009).

Objetiva-se relacionar as condições de ocupação do solo com as características de águas acumuladas em lagoas de detenção do município. A partir dessa relação, foram sugeridas possibilidades de usos não potáveis para tais águas.

## METODOLOGIA

Foram coletadas amostras de água de seis lagoas de detenção — CTG, Makro, Manoel Felipe, Alagamar, Petrobras e Preá, que foram denominadas A, B, C, D, E e F, respectivamente (Figura 1) — situadas no município de Natal (RN). Elas representam cerca de 20% do total de lagoas de detenção do município e apresentam a finalidade de contenção dos efeitos indesejáveis de inundações.

As coletas foram realizadas para identificar a qualidade das águas armazenadas e para, posteriormente, identificar se poderiam ou não ter utilização não potável. As amostras foram coletadas por meio de amostrador manual. O aspecto geral das águas e das estruturas das lagoas estudadas, assim como informações relacionadas à área total, às condições de saneamento da bacia hidrográfica onde cada lagoa está inserida e aos usos percebidos ou existentes são detalhados na Tabela 1.

Os parâmetros analisados nas águas das lagoas de detenção e infiltração foram pH; temperatura; CEA; turbidez; oxigênio dissolvido (OD); coliformes termotolerantes (CTT); contagem de ovos de helmintos; DQO; nitrogênio total Kjeldahl (NTK); nitrato; fósforo total; alcalinidade; cloretos; dureza total; sólidos totais, dissolvidos e suspensos além dos íons potássio, sódio, magnésio e cálcio, que, conjuntamente, representam a razão de absorção de sódio (RAS°).

No total, foram realizadas 120 coletas, distribuindo-se 20 amostras para cada lagoa de detenção estudada. As coletas aconteceram entre os meses de fevereiro e agosto, abrangendo desde o verão até o inverno.

Os parâmetros pH, condutividade elétrica e temperatura eram mensurados *in loco*, com o medidor portátil multifunção HACH<sup>®</sup> (Sensor 156), capaz de mensurar pH que varie de 2 a 19,99, CEA de 0 a 1.999  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  e 2 a 199,9  $\text{mS}\cdot\text{cm}^{-1}$  e temperatura de -10 a 110°C.

Posteriormente à coleta, diferentes volumes de água eram dispostos em também diferentes recipientes, que variaram de acordo com o tipo ou grupo de análise que seria realizada. Para a análise de CTT, as amostras foram reservadas em recipiente plástico autoclavável; para as análises físico-químicas e para a contagem de ovos de helmintos, as amostras foram acondicionadas em recipiente de plástico; e, para a determinação dos íons necessários a RAS° (cálcio, sódio e magnésio), as amostras foram reservadas em frasco âmbar e preservadas em ácido.

Na Tabela 2 estão sintetizados os métodos de análise realizados, seguidos de suas referências.

A análise e interpretação dos resultados obtidos foram realizadas com auxílio de planilhas eletrônicas. Foram realizados testes para avaliar a normalidade dos dados (teste Shapiro-Wilks) e relacionados à

estatística indutiva (testes de Tukey HSD, Fisher LSD, Unequal N HSD, Bonferroni, Scheffé e ANOVA gráfica para os dados paramétricos e Kruskal-Wallis para os não paramétricos).

Os parâmetros foram agrupados para verificar possibilidade de utilização das águas em piscicultura, agricultura (irrigação restrita e irrestrita), usos urbano (compactação do solo, limpeza pública e proteção contra incêndio) e industrial (torre de resfriamento e caldeira).

Para uso piscícola, usou-se como referência principal Bastos *et al.* (2003). A possibilidade de propósitos agrícolas foi avaliada por comparação com os resultados alcançados por USEPA (2004), WHO (2011) e os da Universidade da Califórnia publicados em Ayers e Westcott (1991). Para as aplicações urbanas, as referências foram USEPA (2004) e Bastos *et al.* (2008). O emprego industrial foi avaliado por meio de comparação com resultados obtidos por Metcalf e Eddy (2016).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos nas amostras de águas das lagoas mostraram-se bastante variáveis entre si, o que pode ser explicado pelo fato de as lagoas estarem situadas em bacias hidrográficas que apresentam condições de saneamento distintas, pelas capacidades diversificadas de retenção e pelas condições de suas estruturas. Estatisticamente, observou-se que há diferença significativa entre os parâmetros analisados em cada amostra de lagoa avaliada ( $p < 0,05$ , por meio do teste de Friedman).

A partir de testes estatísticos, observou-se que a maioria dos dados não apresentava distribuição normal. A fim de se verificar o nível de correlação entre os parâmetros analisados, foram feitos testes de inferência tanto para os dados paramétricos (usou-se o teste ANOVA), quanto para os não paramétricos (usou-se teste análogo ao ANOVA). Para o pH e a temperatura, adotou-se como medida de tendência central a média e, para os demais parâmetros, empregou-se a mediana, uma vez que estes não apresentaram distribuição normal.

Na Tabela 3, estão apresentados os resultados dos parâmetros analisados.

Esses resultados são analisados tanto de forma agrupada, quanto isolada. Ao se agrupar, propõe-se uma utilização produtiva para as águas, seja em uso piscícola, agrícola, industrial ou urbano. Ao se analisar os resultados isoladamente, procura-se elucidar as características inerentes às amostras, as quais refletem o grau de contaminação presente.

Entre os padrões recomendados para reúso urbano não potável, observa-se que, em geral, são referentes a esgotos tratados e, sendo assim, para que seja garantida segurança sanitária pela água de reúso, os limites recomendados de turbidez são baixos, variando, por exemplo, de 2 (USEPA, 2004) a 10 UT (ABNT, 1997). Dessa forma, as águas das lagoas não se enquadram aos usos propostos por essas diretrizes.

Os estudos realizados por Bastos *et al.* (2008) indicam que, para uso de água de esgoto tratado na limpeza pública e compactação do solo, é permitido o teor de até 20 UT para turbidez. Dessa forma, para esse uso, tanto as águas da lagoa D quanto E se enquadram,

já que apresentaram valores medianos de 19 e 17 UT, respectivamente (Figura 2).

Observando-se os valores de oxigênio dissolvido, recomenda-se a utilização das águas das lagoas A, B e C para piscicultura, uma vez que



**Figura 1** - Registro fotográfico das lagoas de retenção estudadas (A, B, C, D, E e F).

apresentaram como valores máximos de suas medianas concentrações entre 4 e 6 mg.L<sup>-1</sup> (Figura 3), que é considerada ideal para peixes de águas tropicais (BASTOS *et al.*, 2003).

A ausência de OD nas águas da lagoa F restringiu seu uso em torres de resfriamento (METCALF; EDDY, 2016), e a concentração de sólidos dissolvidos encontrada restringe o uso das águas da lagoa F em

**Tabela 1 - Principais características das lagoas de retenção estudadas.**

Lagoa	Área da bacia hidrográfica (ha)	Aspecto da água	Aspecto geral das estruturas	Usos percebidos ou existentes	Condição de saneamento <sup>2</sup>
A <sup>1</sup>	1.016,0	Pouco poluída	Boa conservação	Controle de poeiras em obras; recreação de contato primário; pesca	Baixa cobertura de rede coletora de esgoto
B <sup>1</sup>	1.016,0	Pouco poluída	Má conservação; ausência de cerca e vegetação crescida	Não percebido	Baixa cobertura de rede coletora de esgoto
C	714,8	Turva	Estrutura em obras	Recreacional de contato primário	Grande cobertura de rede coletora de esgoto
D	949,3	Poluição aparente; presença de macrófitas	Elevada inclinação de taludes; vegetação crescida; presença de estação elevatória na área da lagoa; cercas e portões bem conservados	Não percebido	Grande cobertura de rede coletora de esgoto
E	431,8	Poluição razoável; presença de resíduos sólidos; indícios de recebimento de esgotos	Elevada inclinação de taludes; vegetação crescida; formação de bancos de areia; cercas malconservadas	Não percebido	Não há coleta de esgotos
F	1.264,8	Elevada poluição; presença de resíduos sólidos; recebimento de esgotos	Vegetação crescida; cerca e portões de proteção quebrados	Não percebido	Baixa cobertura de rede coletora de esgoto

<sup>1</sup>As lagoas A e B estão situadas na mesma bacia hidrográfica; <sup>2</sup>em todas as bacias hidrográficas, há coleta regular de resíduos sólidos, ocorrendo duas vezes por semana. Fonte: SEMOPI (2009).

**Tabela 2 - Descrição dos métodos de análise.**

Parâmetro	Método de análise	Referência	Código do <i>Standard Methods</i>
pH	Potenciométrico	APHA, 2012	4500 B
Temperatura	Aparelho multifunção com eletrodo para medição de temperatura	APHA, 2012	2550 B
Condutividade elétrica	Condutométrico	APHA, 2012	2510 B
Turbidez	Turbidimétrico	APHA, 2012	2130 B
Oxigênio dissolvido	Método de Winkler (modificação da azida)	APHA, 2012	4500 C
Coliformes termotolerantes	Membrana filtrante	APHA, 2012	9222
Contagem de ovos de helmintos	Contagem de ovos de helmintos	BAILINGER, 1979	NA <sup>1</sup>
Demanda química de oxigênio	Refluxação fechada	APHA, 2012	5220 C
Nitrogênio total Kjeldahl	Destilação titulação (Kjeldahl)	APHA, 2012	4500
Nitrato	Salicilato de sódio	RODIER, 1975	NA*
Fósforo total	Digestão em meio ácido	APHA, 2012	4500 E
Alcalinidade total	Titulação potenciométrica	APHA, 2012	2320 B
Cloretos	Método argentimétrico (método de Mohr)	APHA, 2012	4500 B
Dureza total	Titulométrico do EDTA <sup>2</sup>	APHA, 2012	2340 C
Sólidos totais	Gravimétrico	APHA, 2012	2540 B
Sólidos dissolvidos	Gravimétrico	APHA, 2012	2540 D
Sólidos suspensos totais	Gravimétrico	APHA, 2012	2540 D
Razão de absorção de sódio	Espectrofotometria de absorção atômica	APHA, 2012	3500 B

NA: não se aplica; <sup>2</sup>ácido etilenodiamino tetra-acético.

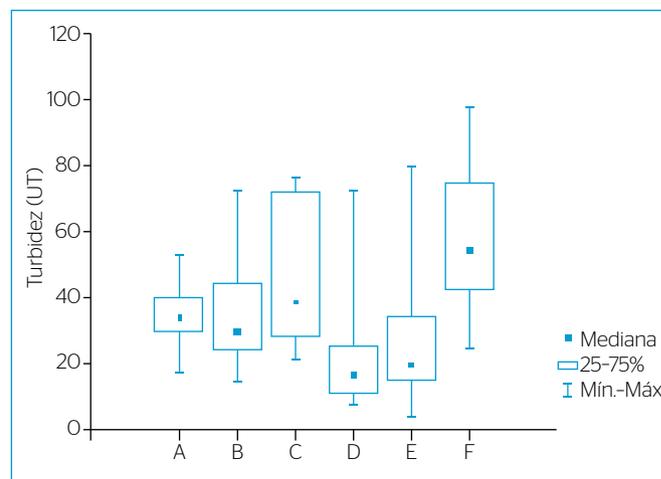
caldeiras à baixa ou à intermediária pressão. Para as águas das demais lagoas, é recomendável o uso em caldeiras que funcionem em alta ou intermediária pressão, e a água da lagoa A pode ser usada em caldeiras que funcionem também em baixas pressões (METCALF; EDDY, 2016).

Em relação aos parâmetros OD e CTT, observou-se que as águas das lagoas A, B e C apresentaram as melhores condições de uso, com maiores teores de OD e menores concentrações de CTT (Figura 4). Nas águas da lagoa A, os baixos valores de CTT aproximam-se da recomendação de  $< 200$  UFC.100 mL<sup>-1</sup>, da USEPA (2004), para uso urbano restrito. Nas águas das lagoas D, E e F, foram obtidas concentrações de CTT situados entre  $10^4$  e  $10^5$  UFC.100 mL<sup>-1</sup> (Figura 4). O valor máximo da mediana encontrada para as águas da lagoa F situou-se em uma faixa que, segundo Oliveira e Von Sperling (2005), é considerada típica para esgoto predominantemente doméstico no Brasil, ou seja, entre  $10^6$  a  $10^9$  UFC.100 mL<sup>-1</sup>.

Foi obtida a mesma concentração de ovos de helmintos em todas as amostras: menos de um ovo de helminto.litro<sup>-1</sup>. É importante comentar que apenas nas águas da lagoa F, e em uma única amostra, foi encontrado um ovo de helminto. Para as demais amostras e lagoas, o resultado encontrado foi de zero ovos. A mesma concentração desses ovos foi encontrada para todas as águas das lagoas em função da expressão de resultados, que é feita a partir de fórmula que considera, para efeito de cálculo, o número médio de ovos encontrados e diferentes volumes.

Cabe destacar também que a coleta não foi realizada no sedimento, onde poderia ser possível encontrar mais ovos de helmintos sedimentados, em função da densidade mais elevada que a água.

Avaliando-se o risco sanitário oferecido pelas águas das lagoas estudadas, pode-se afirmar que as de A, B, C e D podem ser destinadas a usos não potáveis restritos (BASTOS *et al.*, 2008) e as de E e F necessitam de tratamento complementar para eliminar riscos sanitários.



**Figura 2** - Concentração de turbidez observada nas águas das lagoas estudadas.

**Tabela 3** - Valores encontrados para os parâmetros analisados.

Parâmetro	Unidade	Lagoa de retenção e infiltração					
		A	B	C	D	E	F
pH		7,1	6,9	7,0	7,6	7,0	6,9
Temperatura	°C	25	26	27	25	26	27
Condutividade elétrica	µS.cm <sup>-1</sup>	152	148	176	146	285	517
Turbidez	UT	34	30	38	17	19	54
Oxigênio dissolvido	mg.L <sup>-1</sup>	3,30	2,40	1,40	1,00	0,80	0,00
Log 10 CTT	UFC.100 mL <sup>-1</sup>	2,6	3,0	3,5	3,9	4,3	5,7
Contagem de ovos de helmintos	ovos.litro <sup>-1</sup>	0	0	0	0	0	0
Demanda química de oxigênio	mg.L <sup>-1</sup>	33	58	32	34	73	204
Nitrogênio total Kjeldahl	mg.L <sup>-1</sup>	0,56	1,12	1,12	1,26	2,52	5,60
Nitrato	mg.N.L <sup>-1</sup>	1,70	2,39	6,53	2,35	1,33	1,96
Fósforo total	mg.L <sup>-1</sup>	0,06	0,07	0,10	0,11	0,20	0,20
Alcalinidade total	mgCaCO <sub>3</sub> .L <sup>-1</sup>	78	72	76	80	116	158
Cloretos	mg.L <sup>-1</sup>	5	12	19	11	38	66
Dureza total	mg.L <sup>-1</sup>	7,4	6,6	7,7	7,1	6,8	7,2
Sólidos totais	mg.L <sup>-1</sup>	148	168	263	266	244	434
Sólidos dissolvidos	mg.L <sup>-1</sup>	134	110	198	253	183	368
Sólidos suspensos totais	mg.L <sup>-1</sup>	20	20	36	16	32	42
Razão de absorção de sódio		0,30	0,30	0,30	0,80	3,0	2,5

Nota: Valores de mediana para todos os parâmetros, com exceção de pH e temperatura (valores médios).

As maiores concentrações de DQO foram encontradas em E e F, que correspondem às lagoas situadas em bacias com as piores condições de saneamento. É possível afirmar que a concentração encontrada em F é moderada, em torno de 204 mg.L<sup>-1</sup>, e dá indícios de contaminação das suas águas por esgoto (Figura 5). Para as demais lagoas, os baixos valores de DQO não permitem que sejam feitos comentários semelhantes. Mesmo sendo um parâmetro muito eficaz para determinação de contaminação tanto de origem doméstica como industrial, a legislação brasileira não contempla esse parâmetro como padrão de qualidade de água.

Para a análise do NTK, optou-se por reunir as lagoas em dois grupos distintos, que representavam similaridade quanto aos parâmetros analisados. Em um dos conjuntos, estão as lagoas A, B e C, enquanto no segundo estão as D, E e F. Observou-se que as situadas em bacias hidrográficas com melhores condições de saneamento (A, B e C) apresentaram menores frações de nitrogênio orgânico e, para aquelas

situadas em região com piores condições de saneamento (D, E e F), maiores frações de nitrogênio orgânico foram detectadas (Figura 6). Tal constatação sugere a presença constante de esgoto bruto chegando clandestinamente às águas das lagoas D, E e F (VON SPERLING, 2017).

Apesar da forma predominante de nitrogênio apresentado nas águas das lagoas D, E e F não ser nitrato, pode-se observar que a nitrificação ocorrida pode ser responsável pelos baixos valores de oxigênio dessas águas. Ademais, nas águas de todas as lagoas, os valores medianos de nitrato foram menores que 10 mg.L<sup>-1</sup> (Tabela 3), o que não representa problemas para a contaminação do aquífero com a infiltração das águas das lagoas no solo.

As concentrações de fósforo total encontradas nas águas das lagoas estudadas foram baixas, e os maiores valores medianos (0,20 mg.L<sup>-1</sup>) foram obtidos para as duas lagoas situadas nas bacias com as piores condições de saneamento (E e F). Para estas, também foram observados os maiores valores medianos de DQO (Figura 5).

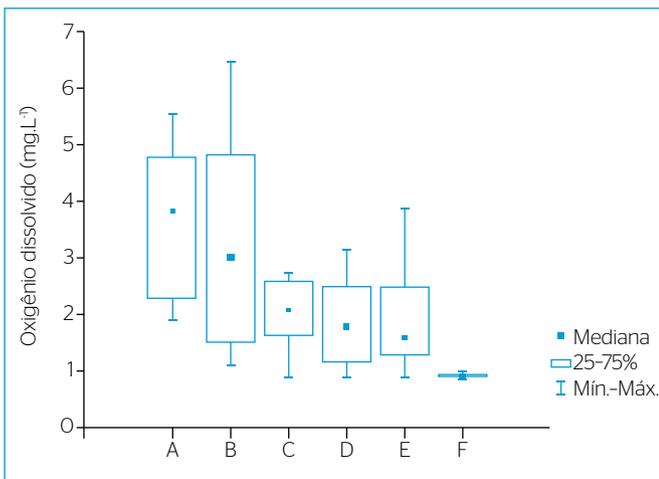


Figura 3 - Concentração de oxigênio dissolvido observada nas águas das lagoas estudadas.

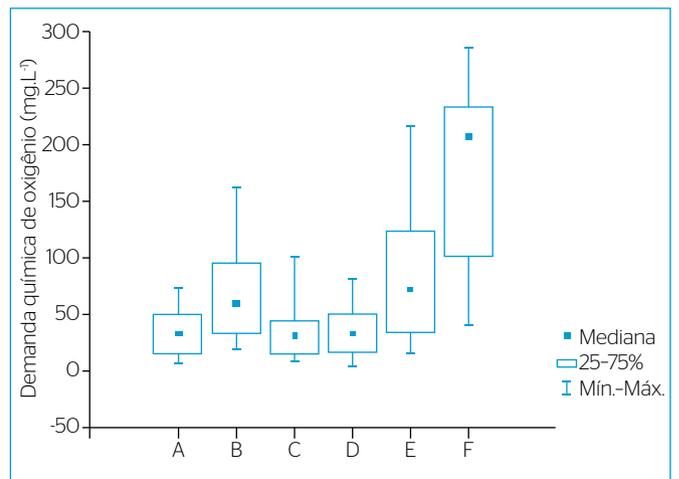


Figura 5 - Resultados de demanda química de oxigênio encontrados nas águas das lagoas estudadas.

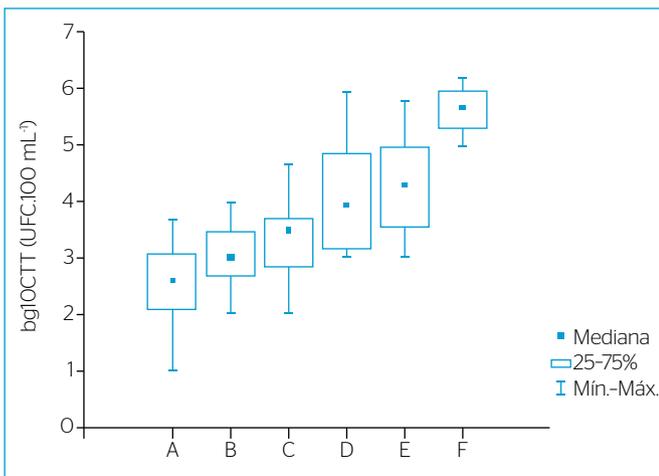


Figura 4 - Resultados de coliformes termotolerantes encontrados nas águas das lagoas estudadas.

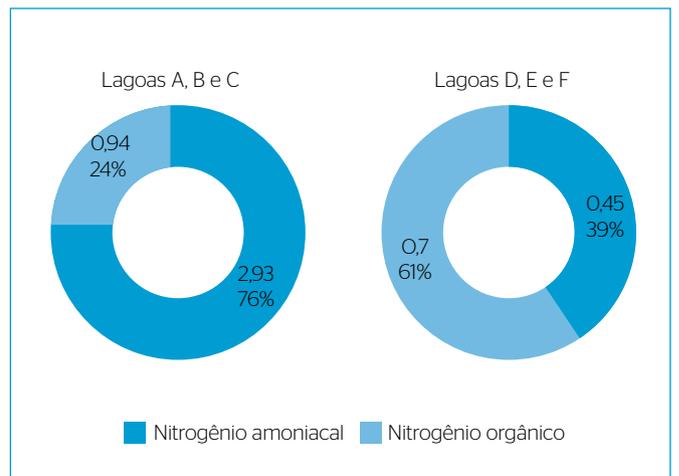
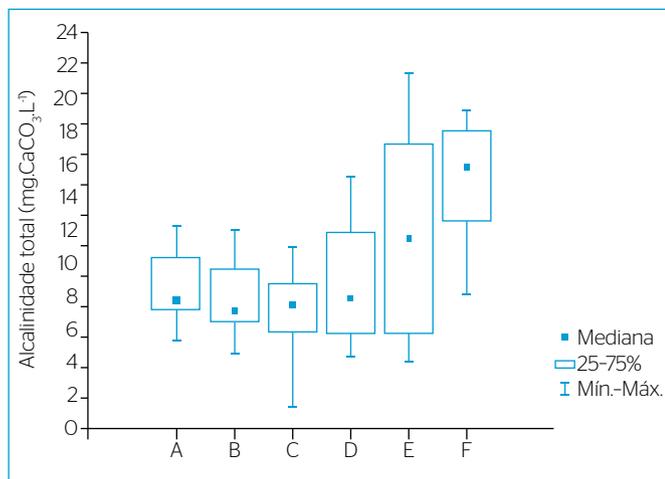


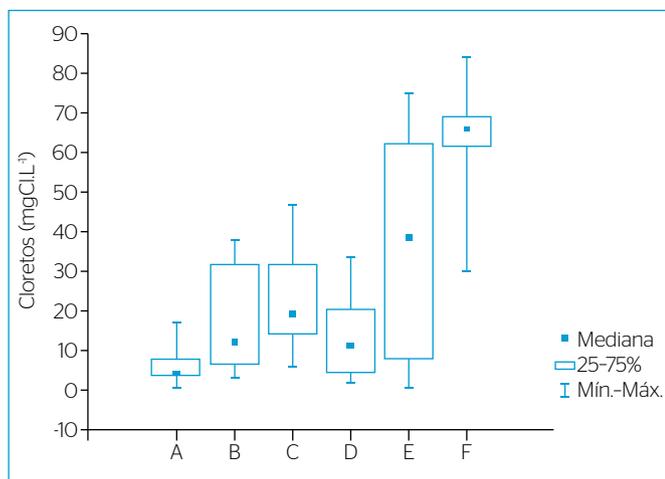
Figura 6 - Porcentagem e distribuição das frações de nitrogênio total Kjeldahl (medianas) encontradas nas águas das lagoas estudadas.

Ao se analisar a alcalinidade (Figura 7), observa-se que todas as amostras se mostraram adequadas para reúso urbano não potável, de acordo com o proposto por USEPA (2004), assim como se enquadram nos limites propostos por Metcalf e Eddy (2016) para utilização em torres de resfriamento e caldeiras.

Em relação aos teores de cloretos, comenta-se que, apesar dos valores medianos obtidos nas águas de E e F não serem elevados (Figura 8), os seus resultados superiores aos das demais lagoas confirmam impressões



**Figura 7** - Concentração de alcalinidade total observada nas águas das lagoas estudadas.



**Figura 8** - Concentração de cloretos observada nas águas das lagoas estudadas.

e comprovações, levantadas em campo, de lançamento de água servida em suas águas.

Em relação às restrições impostas pela presença de cloretos na água de irrigação, em concentrações capazes de promover toxicidade a culturas sensíveis, as águas das lagoas não apresentam restrição em sistemas de irrigação seja superficial, seja por aspersão (AYERS; WESTCOT, 1991).

Para a análise de dureza total, não foi observada diferença significativa entre as águas das lagoas estudadas. Para a utilização dessas águas em torres de resfriamento, não é observada nenhuma restrição, entretanto, para uso em caldeiras, é recomendável apenas em condições de baixas pressões (METCALF; EDDY, 2016).

A concentração de sólidos totais encontrada nas águas da lagoa F é equivalente aos valores encontrados em esgotos fracos (VON SPERLING, 2017). Em relação aos sólidos suspensos, constatou-se que as concentrações não representam problemas relacionados à obstrução em sistema de irrigação localizada (USEPA, 2004) e as águas são adequadas para uso em torres de resfriamento, porém não se adequam em caldeiras, de acordo com o proposto por Metcalf e Eddy (2016). Os valores de sólidos dissolvidos não representam restrições ao uso em irrigação (AYERS; WESTCOT, 1991), porém, em emprego industrial, considera-se que não há restrição para utilização em torres de resfriamento, mas, em caldeiras, apenas a lagoa F deverá ser usada em condições de baixa ou intermediária pressão (METCALF; EDDY, 2016).

A RAS° é obtida por meio de valores dos íons cálcio, sódio e magnésio. Esses valores encontrados nas águas das lagoas analisadas são considerados baixos, indicando tendência para estabilidade dos agregados e da estrutura do solo. Entretanto, a análise da velocidade de infiltração, que é estimada em função da RAS° e da CEa, apontou que as águas de todas as lagoas apresentaram restrição moderada ao uso na irrigação (Tabela 4) (AYERS; WESTCOT, 1991).

Os padrões de utilização de água em irrigação adotados neste estudo são da Universidade da Califórnia (AYERS; WESTCOT, 1991), e leva-se em consideração a condição do solo a ser irrigado, que, para tal, deve variar entre franco arenoso a franco argiloso. Apesar de o solo encontrado em Natal (RN) estar contemplado entre os padrões usados pela Universidade da Califórnia,

**Tabela 4** - Classificação das águas das lagoas para uso na irrigação, considerando-se a velocidade de infiltração.

Parâmetro	Lagoa de detenção e infiltração					
	A	B	C	D	E	F
CEa (dS.m <sup>-1</sup> )	0,23	0,25	0,18	0,26	0,29	0,52
RAS°	0,3	0,3	0,3	0,8	3	2,5
Classificação	Restrição moderada	Restrição moderada	Restrição moderada	Restrição moderada	Restrição moderada	Restrição moderada

CEa: condutividade elétrica aparente; RAS°: razão de absorção de sódio.

**Tabela 5 - Usos aplicáveis às águas das lagoas estudadas.**

Lagoa	Usos						
	Piscicultura	Torre de resfriamento	Caldeira	Compactação do solo/limpeza pública/proteção contra incêndio	Irrigação ***	Irrigação irrestrita	Irrigação restrita
A	X	X	*	**	X	X	
B	X	X	*	**	X	X	
C	X	X	*	**	X		X
D		X	*	**	X		X
E		X	*	**	X		X
F			*	**			

X: uso possível para a água da lagoa; \*uso não recomendado apenas em função dos teores de sólidos em suspensão das águas; \*\*uso não recomendado em função dos teores de turbidez ou da concentração de coliformes termotolerantes; \*\*\*consideraram-se os seguintes parâmetros: condutividade elétrica aparente, nitrato, sólidos totais dissolvidos, cloretos, sólidos suspensos totais.

recomendam-se estudos mais detalhados que se adequem às condições locais, principalmente em função da qualidade da água da lagoa E, que correspondeu ao limite entre duas situações: restrições moderada e severa.

Para uso em irrigação, observa-se que as concentrações de nitrato, abaixo de 10 mg.L<sup>-1</sup>, não são capazes de causar efeitos danosos nem mesmo em espécies vegetais consideradas sensíveis (AYERS; WESTCOT, 1991). As concentrações de sólidos dissolvidos totais (SDT) indicam baixa salinidade, não representando restrição ao uso em irrigação. De acordo com WHO (2011), em função das concentrações de coliformes termotolerantes e de ovos de helmintos, as águas das lagoas A e B podem ser destinadas à irrigação irrestrita e as de C, D e E podem ser destinadas à irrigação restrita.

A condição de saneamento predominante na bacia hidrográfica onde está inserida a lagoa de retenção foi evidenciada por meio dos parâmetros OD, CTT, DQO, cloretos, sólidos totais e fósforo e foi reforçada por meio das evidências observadas durante as coletas. Pode-se confirmar que os maiores teores de OD e as menores concentrações de CTT, DQO, cloretos, sólidos totais e fósforo foram encontrados nas águas das lagoas A e B, que são as que possuíam pouca aparência de poluição. Já os menores valores de OD e maiores valores de CTT, DQO, cloretos, sólidos totais e fósforo ou foram obtidos na lagoa D ou na F, as que aparentavam estar poluídas.

Para alguns usos propostos, observou-se que apenas um dos parâmetros analisados restringiu a utilização das águas das lagoas. Por exemplo, para uso em caldeiras, apenas a concentração de SST foi limitante e, para compactação do solo, limpeza pública ou em sistema de proteção de incêndio, a concentração de CCT ou da turbidez foi limitante.

Após análise dos resultados dos parâmetros de qualidade das águas das lagoas de retenção, apresenta-se um resumo das recomendações para seu uso (Tabela 5).

## CONCLUSÕES

Analisando-se a qualidade das águas das lagoas estudadas, é possível afirmar que há possibilidade de usos em fins piscícolas, agrícolas, industriais e urbanos não potáveis.

A condição de saneamento influencia a qualidade de água das lagoas, sendo claramente observada em três lagoas (A, D e F). A concentração de CTT amplia (para A) ou restringe (para D e F) o uso não potável da água dessas lagoas no meio urbano.

Os riscos sanitários provenientes da presença de ovos de helmintos e da concentração de CTT mostram que as águas das lagoas A, B, C e D possuem adequação para usos urbanos não potáveis restritos, enquanto as de E e F necessitam de tratamento prévio para posterior utilização, justamente por conta dos riscos sanitários oferecidos.

Para o uso das águas das lagoas em irrigação, analisando os parâmetros CEa, SDT, RAS°, cloretos e SST, apenas a velocidade de infiltração, que é obtida por análise conjunta entre RAS° e CEa, impôs restrição moderada de uso.

Para utilização das águas das lagoas em piscicultura, as concentrações de OD e CTT foram limitantes para algumas das lagoas analisadas (D, E e F).

O uso das águas das lagoas em caldeiras não é recomendado sem tratamento complementar prévio, devido à concentração de sólidos suspensos.

Os estudos utilizados como referência para uso urbano não potável em sistema de proteção contra incêndios, limpeza de vias públicas e compactação do solo usam como água de reúso esgotos domésticos tratados e, em função disso, seus parâmetros são restritivos, especialmente as concentrações de CTT e teores de turbidez. Dessa forma, as águas das lagoas não se adequaram as utilizações propostas por esses estudos.

## REFERÊNCIAS

- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA). (2012) *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 22. ed. Washington, DC.: APHA.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT) (1997) *NBR 13.969: norma Tanques sépticos unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos. Projeto, construção e operação*. Rio de Janeiro: ABNT.
- AYERS, R.S.; WESTCOT, D.W. (1991) *A Qualidade da Água na Agricultura*. Campina Grande: UFPB.
- BAILINGER, J. (1979) Mechanisms of parasitological concentration in coprology and their practical consequences. *Journal of American Medical Technology*, v.41, p.65-71.
- BASTOS, R.K.X.; KIPERSTOK, A.; CHERNICHARO, C.A. de L.; FLORENCIO, L.; MONTEGGIA, L.O.; VON SPERLING, M.; AISSE, M.M.; BEVILACQUA, P.D.; PIVELI, R.P. (2008) Subsídios à regulamentação do reuso de água no Brasil. Utilização de esgotos sanitários tratados para fins agrícolas, urbanos e piscicultura. *Revista DAE*, v. 177, p. 50-62. <http://doi.org/10.4322/dae.2014.016>
- BASTOS, R.K.X.; PEREIRA, C.M.; PIVELLI, R.P.; LAPOLLI, F.R.; LANNA, E.A.T. (2003) Utilização de esgotos sanitários em piscicultura. In: BASTOS, R.K.X. (org.). *Utilização de esgotos tratados em fertirrigação, hidroponia e piscicultura*. Rio de Janeiro: ABES, RiMa.
- BEGUM, S.; RASUL, M.G. (2009) Reuse of stormwater for watering gardens and plants using green gully: a new stormwater quality improvement device (SQID). *Water Air Soil Pollution: Focus*, v. 9, n. 5, p. 371-380. <http://dx.doi.org/10.1007/s11267-009-9226-x>
- BEGUM, S.; RASUL, M.G.; BROWN, R.J. (2008) A comparative review of stormwater treatment and reuse techniques with a new approach: green gully. *WSEAS Transactions on Environment and Development*, v. 4, n. 11, p. 1002-1013.
- BRASIL. (2017) Lei nº 13.501, de 30 de outubro de 2017. Altera o art. 2º da Lei nº 9433, de 8 de janeiro de 1997, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, para incluir o aproveitamento de águas pluviais como um de seus objetivos. Diário Oficial da União, Brasília.
- CAMPANA, N.A.; BERNARDES, R.S.; SILVA JÚNIOR, J.A. (2007) Controle qualitativo e quantitativo do escoamento pluvial urbano com bacias de retenção. *Ambiente e Água*, v. 2, n. 3, p. 98-113.
- HELMREICH, B.; HORN, H. (2009) Opportunities in rainwater harvesting. *Desalination*, v. 248, n. 1-3, p. 118-124. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2008.05.046>
- METCALF; EDDY. (2016) *Tratamento de efluentes e recuperação de recursos*. 5. ed. Porto Alegre: AMGH.
- OLIVEIRA, S.M.A.C.; VON SPERLING, M. (2005) Avaliação de 166 ETES em operação no país, compreendendo diversas tecnologias. Parte 1 - análise de desempenho. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 10, n. 4, p. 347-357. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-41522005000400011>
- OUYANG, W.; GUO, B.; CAI, G.; LI, Q.; HAN, S.; LIU, B.; LIU, X. (2015) The washing effect of precipitation on particulate matter and the pollution dynamics of rainwater in downtown Beijing. *Science of the Total Environment*, v. 505, p. 306-314. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.09.062>
- PORTO, M.; MARTINS, J.R.; ARMELIN, L.F. (2009) Qualidade da água em reservatórios de contenção de cheias urbanas. In: RIGHETTO, A.M. (org.) *Manejo de águas pluviais urbanas*. Rio de Janeiro: ABES.
- RIGHETTO, A.M.; ANDRADE NETO, C.O.; BRITO, L.P.; SALES, T.E.A.; MEDEIROS, V.M.A.; FERREIRA, L.C.A.; LIMA, R.R.M. (2009) Estudo qualitativo e de manejo de águas pluviais em área de drenagem piloto na cidade de Natal, Rio Grande do Norte (RN). In: RIGHETTO, A.M. (org.) *Manejo de águas pluviais urbanas*. Rio de Janeiro: ABES.
- RIGHETTO, A.M.; MOREIRA, L.F.F.; SALES, T.E.A. (2009) Manejo de águas pluviais urbanas. In: RIGHETTO, A.M. (org.) *Manejo de águas pluviais urbanas*. Rio de Janeiro: ABES.
- RODIER, J. *L'analyse de l'eau: eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer*. 5 ed. Paris: Dunod, v. 1. 629 p.
- SÁNCHEZ, A.S.; COHIM, E.; KALID, R.A. (2015) A review on physicochemical and microbiological contamination of roof-harvested rainwater in urban areas. *Sustainability of Water Quality and Ecology*, v. 6, p. 119-137. <http://dx.doi.org/10.1016/j.swaqe.2015.04.002>
- SECRETARIA MUNICIPAL DE OBRAS PÚBLICAS E INFRA-ESTRUTURA (SEMOPI). (2009) *Plano diretor de drenagem e manejo de águas pluviais*. Natal: SEMOPI.
- UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA). (2004) *Guidelines for water reuse*. Washington, DC.: USEPA. Disponível em: <[https://cfpub.epa.gov/si/si\\_public\\_record\\_report.cfm?Lab=NRMRL&dirEntryId=129543](https://cfpub.epa.gov/si/si_public_record_report.cfm?Lab=NRMRL&dirEntryId=129543)>. Acesso em: 9 dez. 2017.
- VON SPERLING, M. (2017) *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos*. 4. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental.
- WENDEL, H.E.W.; DOWNS, J.A.; MIHELICIC, J.R. (2011) Assessing equitable access to urban green space: the role of engineered water infrastructure. *Environmental Science & Technology*, n. 45, n. 16, p. 6728-6734. <https://doi.org/10.1021/es103949f>
- WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). (2011) *Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater*. Genebra: WHO. v. 2.
- ZANELLA, L. (2015) Viabilidade técnica e econômica da captação de água de chuva no meio urbano. In: SANTOS, D.B. dos; MEDEIROS, S. de S.; BRITO, L.T. de L.; GNADLINGER, J.; COHIM, E.; PAZ, V.P. da S.; GHEYI, H.R. *Captação, manejo e uso de água de chuva*. Campina Grande: INSA.

