

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E
AMBIENTAL
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: TECNOLOGIA AMBIENTAL

DESVIUFPE COMO BARREIRA SANITÁRIA PARA MELHORIA DA
QUALIDADE DE ÁGUA DE CHUVA EM ZONA RURAL: DETERMINAÇÃO
DE DEPOSIÇÃO SECA E MELHORIA DE DESEMPENHO

LUTTEMBERG FERREIRA DE ARAÚJO

CARUARU-2017

LUTTEMBERG FERREIRA DE ARAÚJO

**DESVIUFPE COMO BARREIRA SANITÁRIA PARA
MELHORIA DA QUALIDADE DE ÁGUA DE CHUVA EM ZONA
RURAL: DETERMINAÇÃO DE DEPOSIÇÃO SECA E MELHORIA
DE DESEMPENHO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Pernambuco – Centro Acadêmico do Agreste, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil e Ambiental.

Área de Concentração: Tecnologia Ambiental

Orientadora: Prof^a Dra. Sávvia Gavazza

CARUARU-2017

Catálogo na fonte:

Bibliotecária – Paula Silva – CRB/4-1223

A663d Araújo, Luttemberg Ferreira de.
Desviufpe como barreira sanitária para melhoria da qualidade de água de chuva em zona rural: determinação de deposição seca e melhoria de desempenho. / Luttemberg Ferreira de. Araújo. – 2017.
73f.; il.: 30 cm.

Orientadora: Sávia Gavazza dos Santos.
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco, CAA, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, 2017.
Inclui Referências.

1. Cisternas – Caruaru (PE). 2. Água – Qualidade - Caruaru (PE). 3. Chuvas - Caruaru (PE). 4. Poluentes – Caruaru(PE). I. Santos, Sávia Gavazza dos (Orientadora). II. Título.

620 CDD (23. ed.)

UFPE (CAA 2017-292)

LUTTEMBERG FERREIRA DE ARAÚJO

**DESVIUFPE COMO BARREIRA SANITÁRIA PARA MELHORIA
DA QUALIDADE DE ÁGUA DE CHUVA EM ZONA RURAL:
DETERMINAÇÃO DE DEPOSIÇÃO SECA E MELHORIA DE
DESEMPENHO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil e Ambiental.

Aprovado em: 28/07/2017

BANCA EXAMINADORA

Prof.^a Dr.^a Sávia Gavazza (Orientadora)
Universidade Federal de Pernambuco - CAA

Prof.^a Dr. EDUARDO HENRIQUE BORGES COHIM SILVA (Examinador Externo)
Universidade Estadual de Feira de Santana-UEFS

Prof.^a Dr.^a ELIZABETH AMARAL PASTICH GONALVES (Examinador Interna)
Universidade Federal de Pernambuco - UFPE

O Nordeste.

Cada marca exposta no rosto
tem uma história de superação
a terra lhe traz tanto gosto
pelo orgulho de ser do sertão
a seca é quem causa desgosto
e a chuva é a certeza do pão.

(Guibson Medeiros)

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, que permitiu que esse momento fosse vivido por mim, trazendo alegria aos meus pais e a todos que contribuíram para a realização deste trabalho.

Aos meus pais, José Luciano e Maria Luciane, responsáveis pela minha formação espiritual e intelectual e por terem tido paciência comigo e por acreditarem em mim, o meu muito obrigado!

Às minhas irmãs, Thayse Layanne e Nataly, pelo amor, carinho e por estarem do meu lado em todos os momentos da vida.

A toda minha família, em especial aos meus tios, Maria Aparecida e Luiz do Nascimento, por terem me dado força para que eu nunca desistisse dos meus objetivos. A todos os meus primos, em especial a Luiz Gustavo (meu *irmãozão*) e Bianca, por sempre me apoiarem e me ajudarem nos momentos complicados.

Aos meus amigos, Jessica Oliveira, Ellen Mariana, Hava Tamires, Mariana Mendes, Henrique Moraes, Igor Paiva, Renan Ferreira, Flávio Roberto, Italo Gomes, Felipe Almeida, Nayara Almeida, Felipe Melo, que sempre me ajudaram e que tornaram os momentos difíceis melhores, com toda alegria e descontração.

Aos amigos, que fiz durante esse período de curso e aos que me acompanham desde a graduação, Isabele Baima, Allan Ogura, Rafaella Dantas, Armando Duarte, Jeisiane Isabella, Alice Almeida, Wendell Soares, Thomas Fernandes, agradeço a todos pelo companheirismo e pelo voto de confiança e pela parceria.

Ao pessoal do Laboratório de Engenharia Ambiental (LEA), sem vocês eu não seria capaz, vou lembrar-me da ajuda sempre, Luís, Alessandra, Allana, Priscila, Carol, Devson. O muito obrigado em especial a Natanna Melo e Joelithon Costa, a dedicação e a inteligência de vocês são admiráveis.

A equipe de cisternas, Thais Bruno e Thais Tainan, se hoje o sonho virou realidade, isso só foi possível por ter vocês sempre ao meu lado. Esta equipe de muita garra foi essencial na minha pesquisa.

A todos os professores que contribuíram para o meu aprendizado, Kenia Barros, Simone Machado e Elizabeth, sempre atenciosas e dedicadas. Em especial a minha orientadora, professora Sávia Gavazza, obrigado pela oportunidade, pela confiança, dedicação, cobrança e motivação, sem o seu apoio jamais teria conseguido. Sou bastante grato e tenho muito orgulho de ter sido seu orientado desde a iniciação científica.

Ao professor Cícero Onofre da UFRN (*in memoriam*) pelo apoio irrestrito ao grupo de pesquisa em cisternas da UFPE e pela sugestão de intervenção do DesviUFPE para remoção de flutuantes, que é testada no presente trabalho.

À UFPE - CAA, professores e demais colaboradores.

À FACEPE, pelo apoio financeiro (APQ-0966-3.07/15), e pela bolsa de Mestrado Acadêmico (IBPG-0135-3.07/15).

Às agências de fomento FINEP (convênio 01.14.0128.00) e CNPq (processo 552308/2011-0), pelo apoio financeiro à pesquisa.

RESUMO

Para minimizar o quadro de escassez hídrica que ocorre na região semiárida brasileira é comum o armazenamento de água de chuva em cisternas, e em geral as águas armazenadas destinam-se principalmente ao consumo humano. Em função deste uso é preciso que a água captada esteja sanitariamente protegida. Para aumentar a segurança sanitária dessas águas é preciso desviar automaticamente os primeiros milímetros precipitados, que são responsáveis pela lavagem da atmosfera e da superfície de captação, que serão carreados para o interior das cisternas. Este trabalho teve como objetivo avaliar a eficácia de uma barreira sanitária (DesviUFPE), para melhoria da qualidade de água de chuva. Foram instalados três dispositivos em residências da zona rural da cidade de Caruaru. Os parâmetros avaliados foram físico-químicos e microbiológicos. O DesviUFPE mostrou-se eficiente na retenção de poluentes em seu interior, merecendo destaque a redução de coliformes totais (90%), além de uma expressiva redução de turbidez (94%). O que resultou numa melhoria da qualidade das águas de chuva destinadas às cisternas. Outro objetivo do trabalho foi determinação do intervalo de tempo de deposição seca (veranico) para que a superfície de captação seja contaminada, e assim demande o uso de um desvio para melhoria da qualidade da água de chuva. Nessa etapa foi constatado que o tempo máximo sem precipitação, para que haja uma nova contaminação atmosférica depositada no telhado é de dois dias. Por fim, sugeriu-se uma adaptação no DesviUFPE a fim de melhorar a retenção em seu interior de materiais flotantes. O DesviUFPE passou a atingir valores de eficiências de sólidos suspensos totais que antes eram de 3,8% para 27,6% após a sua modificação. Com isso, Ficou constatado que nessa etapa do estudo houve uma melhoria na retenção de poluentes, cerca de sete vezes maior do que no DesviUFPE sem alteração em sua estrutura.

Palavras-chave: Cisternas. Qualidade de água de chuva. DesviUFPE.

ABSTRACT

In order to minimize the water scarcity occurring in the Brazilian semi-arid region, it is common to store rainwater in cisterns, and in general, the stored water is mainly used for human consumption. Due to this use, it is necessary that the water storage is sanitary protected. To increase the sanitary safety of these waters it is necessary to automatically divert the first precipitous millimeters, which are responsible for washing the atmosphere and the catchment surface, that will be carried into the cisterns. The objective of this study was to evaluate the efficacy of a sanitary barrier (DesviUFPE) to improve rainwater quality. Three devices were installed at homes in the rural area of the city of Caruaru. The parameters evaluated were physical-chemical and microbiological. The DesviUFPE showed to be efficient on the retention of pollutants, being worth mentioning the reduction of total coliforms (90%), besides a significant reduction of turbidity (94%). This has resulted in improved rainwater quality for cisterns. Another aim of this work was to determine the dry deposition time (summer) that the catchment surface needs to be contaminated and thus requires the use of another way to improve rainwater quality. In this step, it was verified that the maximum time without precipitation, for a new atmospheric contamination deposited in the roof is two days. Finally, an adaptation was suggested in the DesviUFPE in order to improve the retention of floating materials. DesviUFPE started to reach values of total suspended solids efficiencies that were previously 3.8% to 27.6% after their modification. In summary, it was verified that in this phase of the study there was an improvement in the retention of pollutants, about seven times higher than in the DesviUFPE without a change in its structure.

Keywords: Cisterns. Rainwater quality. DESVIUFPE.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - CLIMAS DO MUNDO SEGUNDO O ÍNDICE DE ARIDEZ	18
FIGURA 2 - DELIMITAÇÃO DO SEMIÁRIDO BRASILEIRO.....	20
FIGURA 3 - CISTERNA DO SÉCULO X (CHULTUNS)	21
FIGURA 4 - PROJETO DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA DE CHUVA DENOMINADO “1-2-1”	23
FIGURA 5 - ESQUEMA DE CISTERNA COM BOIA DE NÍVEL.....	30
FIGURA 6 - DISPOSITIVO PARA DESVIO AUTOMÁTICO DAS PRIMEIRAS ÁGUAS BASEADO NO PRINCÍPIO DE FECHO HÍDRICO.	31
FIGURA 7 - 7-A ILUSTRAÇÃO DO DISPOSITIVO DE DESVIO DAS PRIMEIRAS ÁGUAS DESENVOLVIDO PELOS PESQUISADORES DA UFPE. LEGENDA: A – TELHADO; B – DISPOSITIVO DE DESVIO EM PVC; C – CISTERNA. 7-B DESVIUFPE.....	32
FIGURA 8 - SISTEMA DE DESVIO DAS PRIMEIRAS ÁGUAS DE CHUVA INSTALADO NO CAMPUS DO AGRESTE DA UFPE.....	33
FIGURA 9 - LOCALIZAÇÃO DO ESTADO DE PERNAMBUCO, COM DESTAQUE PARA A REGIÃO DO AGRESTE PERNAMBUCANO, MUNICÍPIO DE CARUARU - PE	38
FIGURA 10 - LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS DE COLETA, ZONA RURAL-CARUARU.....	39
FIGURA 11 - FOTOGRAFIAS ILUSTRATIVAS DO DESVIUFPE INSTALADO EM 2 RESIDÊNCIAS NA ZONA RURAL DE CARUARU-PE: (A); RESIDÊNCIA R1, COM CISTERNA (B) RESIDÊNCIA R2, TAMBÉM COM CISTERNA.	39
FIGURA 12 - INSTALAÇÃO EXPERIMENTAL DE CISTERNAS (IEC) DO LEA-UFPE.	42
FIGURA 13 - TELHADOS DA IEC.....	43
FIGURA 14 - PONTOS DE COLETAS	44
FIGURA 15 - DISPOSITIVOS UTILIZADOS NO ESTUDO.....	46
FIGURA 16 - DIVISÃO DO TELHADO UTILIZADO PARA O EXPERIMENTO ..	47
FIGURA 17 - ILUSTRAÇÃO DOS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS. FIGURA A: ALCALINIDADE. FIGURA B: CONDUTIVIDADE. FIGURA C: PH. FIGURA D: DUREZA TOTAL. FIGURA E: CLORETOS.....	52

FIGURA 18 - MÉDIA DE TURBIDEZ DAS ÁGUAS DE CHUVA ARMAZENADA NA ZONA RURAL.....	55
FIGURA 19 - MÉDIA SÓLIDOS DISSOLVIDOS TOTAIS DAS ÁGUAS DE CHUVA ARMAZENADA NA ZONA RURAL.	56
FIGURA 20 - MÉDIA DE COLIFORMES TOTAIS DAS ÁGUAS DE CHUVA ARMAZENADA NA ZONA RURAL.	57
FIGURA 21 - MÉDIA DE E. COLI DAS ÁGUAS DE CHUVA ARMAZENADA NA ZONA RURAL.	58
FIGURA 22 - MÉDIA DOS VALORES DE COR APARENTE.....	59
FIGURA 23 - MÉDIA DOS VALORES DE TURBIDEZ	60
FIGURA 24 - A: DESVIUFPE NA SUA CONFIGURAÇÃO ORIGINAL. FIGURA 24 -B: DESVIUFPE APÓS MUDANÇA NA SUA CONFIGURAÇÃO.	62
FIGURA 25 - EFICIÊNCIA DA REMOÇÃO DE TURBIDEZ.....	63
FIGURA 26 - EFICIÊNCIA DA REMOÇÃO DE SÓLIDOS SUSPENSOS TOTAIS	64

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - DIVISÕES DAS ATIVIDADES.....	37
TABELA 2 - CARACTERÍSTICAS DOS PONTOS DE COLETA.....	41
TABELA 3 - PARÂMETROS MONITORADOS E SEUS RESPECTIVOS LIMITES ESTABELECIDOS PELA PORTARIA.	41
TABELA 4 - PARÂMETROS MONITORADOS DURANTE O VERANICO.....	45
TABELA 5 - PARÂMETROS MONITORADOS.....	48
TABELA 6 - RESULTADO DOS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS E BACTERIOLÓGICOS OBTIDOS NAS AMOSTRAS DE ÁGUA COLETADA DO 20 MILÍMETRO (RESIDÊNCIA 1-R1) E NAS 2 CISTERNAS TRÊS RESIDÊNCIAS (RESIDÊNCIAS 2 E 3 – R2 E R3) NA ZONA RURAL DE CARUARU-PE.....	50
TABELA 7 - MÉDIA E DESVIO-PADRÃO DOS PARÂMETROS ANALISADOS NA MODIFICAÇÃO DO DESVIUFPE.....	61

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	OBJETIVO	16
2.1	Objetivo Geral	16
2.2	Objetivos Específicos	16
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
3.1	Potencialidade Hídrica	17
3.2	Regiões Semiáridas	18
3.3	Histórico de captação de água de chuva	21
3.4	Alterações da qualidade de água de chuva	24
3.5	Barreiras Sanitárias	28
3.6	Veranico	35
3.7	DesviUFPE modificado	36
4	MATERIAL E MÉTODOS	37
4.1	Descrição da Pesquisa	37
4.2	Monitoramento da qualidade da água armazenada em cisternas na zona rural de Caruaru	38
4.3	Determinação de quantos dias sem precipitação (VERANICO) são suficientes para a deterioração da qualidade da água aspergida	42
4.4	Análise da capacidade de retenção de sólidos flotantes no DesviUFPE após modificação em sua estrutura	46
5	RESULTADOS	49
5.1	Monitoramento da qualidade de água armazenada em cisternas na zona rural de Caruaru	49
5.1.1	<i>Resultados dos parâmetros Bacteriológicos</i>	56
5.2	Determinação de quantos dias sem precipitação (VERANICO) são suficientes para a deterioração da qualidade da água aspergida	58
5.2.1	<i>Cor Aparente</i>	59

5.2.2	<i>Turbidez</i>	59
5.3	Análise da capacidade de retenção de sólidos flotantes no desviUFPE após modificação em sua estrutura	61
5.3.1	<i>Turbidez</i>	62
5.3.2	<i>Sólidos suspensos Totais</i>	63
6	CONCLUSÕES	65
7	RECOMENDAÇÕES	67
	REFERÊNCIAS	68

1 INTRODUÇÃO

O consumo de água é crescente para diversos fins e diante dessa realidade o acesso a água de boa qualidade torna-se cada vez mais difícil para grande parte da população. Nos últimos anos a água vem perdendo sua qualidade em tais níveis, que em alguns casos, torna-se até inviável o tratamento para fins de consumo humano. A perda da qualidade e o uso excessivo da água são alguns dos fatores que intensificam a crise hídrica mundial. Para alguns autores, a crise hídrica é resultante de fatores como crescimento econômico e populacional, sendo ela uma das maiores ameaças para as sociedades humanas, além de ser um grande obstáculo ao desenvolvimento sustentável (GOHARI *et al.*, 2013). Ainda segundo o autor, nos próximos anos, a água se tornará um dos recursos mais estratégicos de desenvolvimento, não só nas regiões áridas e semiáridas, mas em todas as partes do mundo.

A heterogeneidade dos regimes de chuva no território nacional faz com que em algumas regiões haja uma menor disponibilidade de água quando comparada a outras. Como exemplo, pode ser mencionado o semiárido nordestino do Brasil que é marcado pela falta d'água devido aos índices de precipitações baixos. Além disso, a alta taxa de evapotranspiração contribui para o agravamento da situação. Portanto a região apresenta um período de cerca de oito a nove meses de estiagem, fazer uso de alguma forma de armazenamento de água para suprir o abastecimento humano nas épocas de seca é umas das soluções mais viáveis para essa problemática.

As cisternas, uma das formas de armazenamento de água já empregada na região nordeste, tornaram-se um importante mecanismo para enfrentar a falta de água durante o período de estiagem. A utilização dessa tecnologia tem contribuído de forma positiva para o suprimento desse recurso para consumo humano durante a época que não ocorre precipitação. Sendo assim, faz-se uso do próprio telhado da residência como área de captação, seguido de calhas que direcionam a água para um dispositivo de armazenamento.

Apesar do uso de cisternas ser uma forma de minimizar o problema do déficit de água durante os meses de estiagem, a preocupação passa a ser direcionada para a qualidade da água que está sendo armazenada. Pois, apesar de a água de chuva ter naturalmente uma boa qualidade, o caminho que ela faz até seu armazenamento pode comprometê-la totalmente. Logo, a água a ser armazenada ainda requer alguns cuidados.

Pensando na necessidade de uma proteção sanitária, o grupo de pesquisa de cisternas da UFPE desenvolveu um dispositivo automático, denominado DesviUFPE (Lima, 2012), para desvio das primeiras águas de chuva no início de eventos de precipitação. As impurezas introduzidas na água da chuva durante a lavagem da atmosfera e superfície de captação (telhados e calhas), são desviadas através de um dispositivo automático, melhorando consideravelmente a qualidade da água armazenada nas cisternas e utilizada para consumo humano. O DesviUFPE foi certificado como Tecnologia Social pela Fundação Banco do Brasil, durante a premiação desta fundação em 2013 e é tecnologia aberta, sem patente. Apesar de ser uma tecnologia já desenvolvida, com reconhecido potencial para proteção sanitária de cisternas (ALVES, 2014 E SILVA, 2017), o DesviUFPE pode ser melhorado, principalmente quanto a remoção de materiais flutuantes. Além disso, o estabelecimento da duração do intervalo de deposição seca entre dois eventos de precipitação durante o período chuvoso requer determinação.

Desta forma, o presente trabalho objetivou avaliar a eficiência do emprego do DesviUFPE em três etapas experimentais. A primeira etapa foi de monitoramento da qualidade da água de chuva armazenada no DesviUFPE e em cisternas localizadas em residências da zona rural da cidade de Caruaru-PE, avaliando a eficiência no uso do dispositivo. A segunda etapa se baseou na determinação de quantos dias sem precipitação, subsequentes a uma chuva, são suficientes para que a contaminação da superfície de captação se estabeleça novamente de forma a justificar novo desvio do primeiro fluxo de água. A última etapa teve o intuito de avaliar a capacidade de retenção de sólidos flutuantes após uma modificação na estrutura do dispositivo utilizado nas pesquisas anteriores.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral:

Avaliar o desempenho do DesviUFPE como barreira sanitária para melhoria da qualidade de água de chuva em zona rural, com determinação do intervalo de tempo de deposição seca (veranico) e intervenção para remoção de materiais flotantes e testar melhoria do DesviUFPE.

2.2 Objetivos Específicos:

- Avaliar a eficiência no emprego do DesviUFPE para proteção sanitária de água de chuva armazenada em cisternas na zona rural de Pernambuco;
- Determinar quantos dias sem precipitação (veranico), subsequentes a uma chuva, serão suficientes para a deterioração da qualidade da água de chuva;
- Analisar a capacidade de retenção de sólidos flotantes no DesviUFPE após passar por uma modificação em sua estrutura.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Potencialidade Hídrica

A água apresenta-se hoje como uma fonte de grande importância no meio terrestre, pois todas as atividades desenvolvidas pelo homem são dependentes de água de boa qualidade. As águas de fontes como rios, lagos e represas, que apresentam formas de captação mais acessíveis, representam muito pouco do total de água doce disponível para consumo humano. Além do mais, a grande utilização da água de boa qualidade em diversas atividades, faz com que ela sofra deterioração da sua composição original. Com isso, esse recurso vem se tornando cada vez mais escasso, e um dos motivos é a dificuldade no tratamento para consumo humano, o que em muitos casos torna-se inviável.

O Brasil tem posição privilegiada quando se diz respeito à distribuição dos recursos hídricos. No território brasileiro estão espalhadas cerca de 200 mil microbacias, localizadas em doze regiões hidrográficas, sendo as mais importantes a bacia do São Francisco e a bacia Amazônica. Dessa forma, a quantidade de bacias permite que o Brasil contabilize cerca de 12% de toda água doce do mundo (BRASIL, 2017). Porém, essa distribuição do território brasileiro se apresenta de forma não uniforme, onde 81% desse recurso se encontra na área da Região Hidrográfica Amazônica, região pouco populosa com cerca de 5% da população brasileira, o que ocasiona uma menor demanda. Já nas regiões em que o índice populacional é maior, como é o caso das regiões hidrográficas que são banhadas pelo Oceano Atlântico e onde vivem aproximadamente 45,5% da população do território nacional, estão disponíveis apenas 2,7% dos recursos hídricos do Brasil (ANA, 2007).

Quando se diz respeito à disponibilidade hídrica da região nordeste, em especial a área semiárida, pode-se constatar que essa região apresenta pluviosidade irregular, tanto espacial como temporal. Além disso apenas em períodos curtos, de três a quatro meses, ocorrem precipitações, o que leva um intervalo de estiagem muito grande de oito a nove meses, em períodos regulares. A maioria dos rios do semiárido nordestino são intermitentes, o que também contribui para a insuficiência de água na região. Tal fator limita o desenvolvimento social e econômico dessa região (CIRILO, 2008). Porém, em relação ao semiárido brasileiro, ele é o mais chuvoso do planeta, tendo uma média de 200

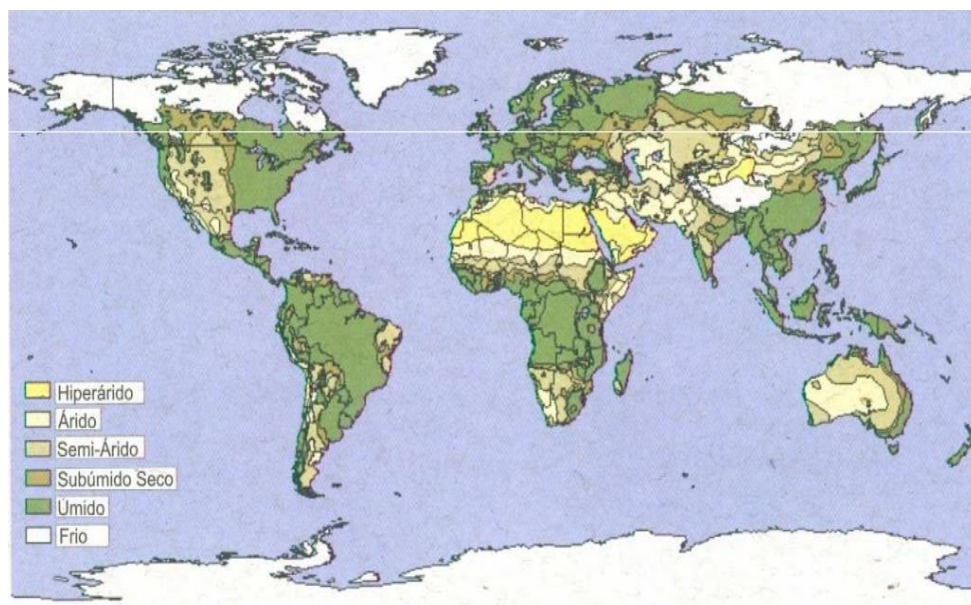
a 800 mm anuais quando comparado com outras regiões semiáridas do mundo, onde chove entre 80 a 250 mm (MALVEZZI, 2007).

3.2 Regiões Semiáridas

Segundo Cirilo (2008), os recursos hídricos nas regiões semiáridas mais habitadas limitam desenvolvimento humano. De acordo com o autor, órgãos governamentais de muitas regiões semiáridas do mundo estão se mobilizando com o objetivo principal de melhorar a infraestrutura dessas regiões, sendo assim capazes de disponibilizar o abastecimento de água para a população e ainda tornar a irrigação viável.

Para classificação de clima utiliza-se o índice de Aridez (IA), que por sua vez é definido pela razão entre a precipitação e a evapotranspiração potencial (Ayoade *apud* BRASIL, 2004). São assim classificadas as Terras Secas, conhecidas por constituir um conjunto particular de terras dentro das zonas climáticas do planeta, onde essas são formadas pelas Zonas Áridas (hiperáridas, áridas e semiáridas) e Subúmidas Secas. Esse conjunto de terras representam uma considerável proporção da superfície terrestre, como pode ser notado na Figura 1.

Figura 1: Climas do mundo segundo o índice de aridez



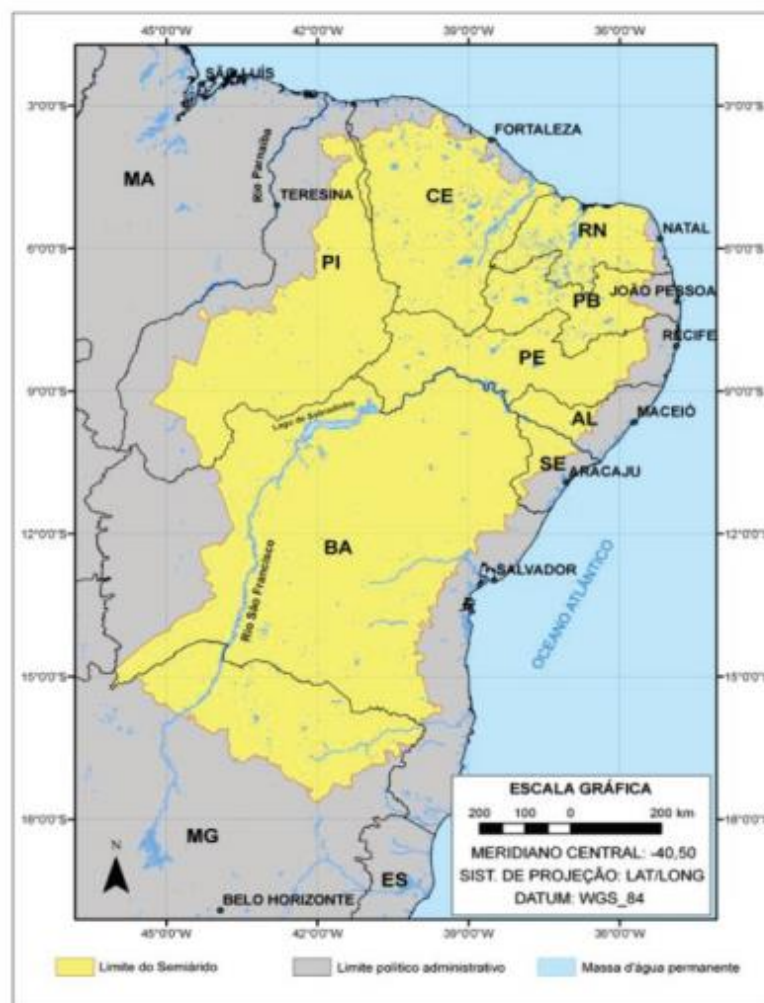
Fonte: <https://cals.arizona.edu/OALS/soils/surveys/global.html> (2017)

De acordo com a Figura 1, pode-se observar que a região do semiárido no mapa mundial está presente em todos os continentes, exceto na Antártica, o mesmo é válido para as regiões de clima árido. Segundo Silva (2006), é importante destacar que as regiões de clima semiáridos estão sujeitas a desertificações. Dentre as características principais do clima semiárido pode-se destacar algumas como a baixa umidade, baixa pluviosidade, distribuição desuniforme das chuvas, além do ser clima seco e bastante quente em todos os períodos do ano (CIRILO, 2008).

No Brasil, a definição de semiárido era baseada na Norma da Constituição Brasileira de 1988, precisamente no artigo 159, Lei n 7.827, de 27 de dezembro de 1989, na qual a classificação de semiárido era feita apenas levando em consideração o índice pluviométrico médio anual, sendo ele igual ou inferior a 800 mm (oitocentos milímetros). Em 2005 houve uma atualização dessa área do semiárido, feita pelo Ministério da Integração Nacional, em que foram estabelecidos três critérios técnicos, caso a região atendesse a qualquer um dos critérios mencionados abaixo, teria sua classificação como semiárido (ANA, 2012).

- A precipitação pluviométrica média anual inferior a 800 mm;
- Um índice de aridez de até 0,5, no período entre 1961 e 1990, calculado pelo balanço hídrico que relaciona as precipitações e a evapotranspiração potencial;
- E o risco de seca maior que 60% no período de 1970 a 1990.

Segundo o IBGE (2010), a atual região semiárida abriga 11,84% da população do país, ocupando 18,2% do território brasileiro. Apresenta condições de um clima de aridez dominante e hidrologia bastante carente, tendo uma extensão total de 982.563,3 Km² com um aumento de cerca de 8% da antiga delimitação do semiárido. Como pode ser observada na figura 2, no que diz respeito a área do semiárido, a Região Nordeste concentra em torno de 89,5%, abrangendo a maioria dos estados nordestinos, com a exceção do Maranhão. Já o Estado de Minas Gerais, situado na Região Sudeste, possui os 10,5% restantes (103.589,96 km).

Figura 2: Delimitação do Semiárido brasileiro

Fonte: Base cartográfica IBGE (2010)

De acordo com Cirilo (2008), o semiárido brasileiro apresenta situações mais difíceis de serem superadas do que outras regiões de semiaridez do mundo, devido as seguintes características: os solos dessa região, em sua maior parte, são muito rasos com rocha aflorante, o que tende a comprometer assim a existência de aquíferos; as temperaturas elevadas acarretam em altas taxas de evaporação; possui poucos rios perenes; além do maior número de pessoas vivendo nessa região, quando comparado com as outras regiões semiáridas do mundo, o que vem a gerar grandes pressões sobre os recursos hídricos.

Devido a essas condições ambientais apresentadas da região semiárida, diferentes alternativas têm sido ampliadas para que assim possa-se armazenar as águas de chuva, com o objetivo de suprir a deficiência da mesma em épocas de estiagem e utilizando-as

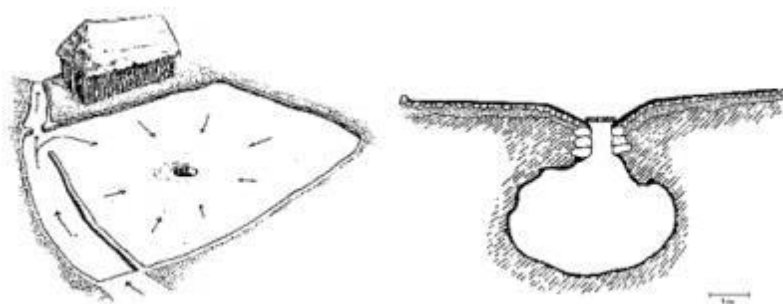
para consumo humano, consumo animal e produção. Segundo Andrade Neto (2013), o uso de cisternas para captação e armazenamento de água de chuva para consumo doméstico é uma prática milenar em várias regiões do mundo e, atualmente, tem merecido maior interesse e ampla aplicação.

3.3 Histórico de captação de água de chuva

O aproveitamento da água de chuva vem sendo feito pela humanidade para diversos fins desde a antiguidade, antes mesmo de Cristo. Evidências mostram que no palácio de Knossos, na ilha de Creta, foram encontrados inúmeros reservatórios escavados em rochas, em meados de 3000 a.C., que armazenavam as águas de chuva que em seguida eram usadas para consumo humano (THE RAINWATER TECHNOLOGY HANDBOOK *apud* PLÍNIO THOMAZ, 2011). No período do *homo sapiens*, na África do Sul, há 200.000 anos, coletava-se água de chuva em ovos de avestruz, em seguida, esses ovos eram enterrados e guardados para que se fizesse uso dessa água para beber em períodos de seca (FUNDAÇÃO KONRAD ADENAUER; GTZ, 2006).

No século X, ao sul da cidade de Oxkutzcab, a agricultura era baseada na coleta da água de chuva, onde essa água era armazenada em cisternas com capacidade de 20 a 45 m³, chamadas de Chultuns pelos Maias, essas cisternas eram escavadas no subsolo de calcário e revestidas com reboco impermeável, e acima delas havia uma área de contribuição de 100 a 200 m² (Figura 3) (GNADLINGER, 2000).

Figura 3: Cisterna do século X (Chultuns)



Fonte: Gnadlinger (2000)

No Japão, especificamente na cidade de Tóquio, foram construídas barragens para a captação de águas de chuva em regiões montanhosas localizadas a 190 km do centro da

cidade. Esse método foi estabelecido para atender a demanda por água potável e assim disponibilizá-la para a população (FENDRICH e OLIYNIK, 2002).

Como já foi mencionado anteriormente, a captação de água de chuva é uma das mais antigas práticas em uso para suprir as necessidades de abastecimento de água e ainda hoje vem tendo papel importantíssimo no desenvolvimento e gestão das grandes cidades e no progresso da sociedade. Segundo Amos, Rahman e Gathenya (2016), muitos países enfrentam o aumento das pressões da demanda de água associadas as mudanças climáticas, ambientais e sociais, fazendo uso de novas possibilidades tecnológicas de aproveitamento de água de chuva, desenvolvidas nas últimas décadas para lidar com as necessidades de abastecimento.

Alguns eventos como a agricultura irrigada, industrialização, rápido crescimento populacional, que por consequência ocasionam urbanização, impuseram uma crescente pressão sobre os recursos hídricos existentes. Com isso, algumas agências governamentais de alguns países vêm implementando várias diretrizes e iniciativas em relação à utilização de água de chuva.

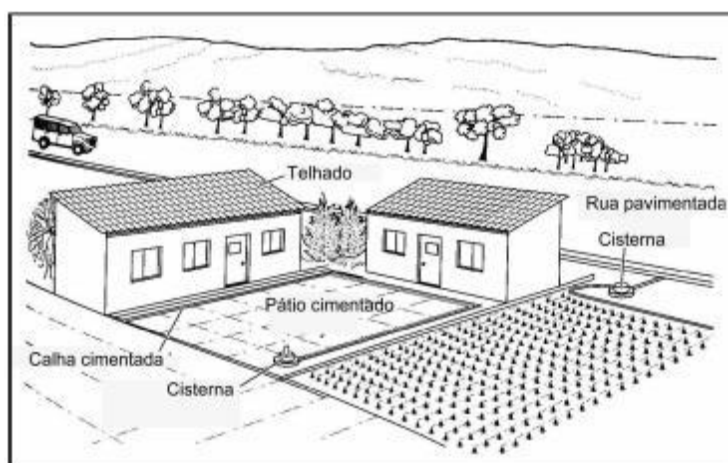
Na Malásia foi realizado um estudo no qual o governo introduziu iniciativas em relação ao uso de água de chuva. No entanto, foi constatado que o uso de água de chuva ainda teve de ser integrado na política nacional de água como uma estratégia de adaptação em relação as alterações climáticas (LEE *et al.*, 2016). Os autores sugerem que sejam feitas cooperações para que se possa promover o desenvolvimento da utilização de água de chuva no país de forma autoritária e organizada como um recurso hídrico alternativo.

Em um outro estudo, realizado em uma rede de hotéis localizados na cidade do Cabo, África do Sul, foi verificado que o armazenamento e utilização da água, mesmo que venha a ser uma reutilização de forma direta para a irrigação de jardins durante os meses sem precipitação, como fonte alternativa de água superficial, faz com que a pressão sobre as águas disponíveis na África do Sul venha a diminuir devido a essa prática de reuso (WYNGAARD e LANGE, 2013). Na Holanda, a água de chuva é coletada com dupla finalidade: tanto para evitar o transbordamento dos canais que rodeiam o país, que se encontram abaixo do nível do mar, como também, para irrigação de lavouras (PNUMA, 2001 *apud* MAY, 2005).

Na China, no Estado de Gansu, foi lançado pelo governo, em 1986, o Programa Tecnológico de Pesquisa e Desenvolvimento, que incluiu também o uso e a captação de água de chuva para amenizar a escassez de água e contribuir para o desenvolvimento das áreas semiáridas do país. Com isso, surgiu um programa denominado “1-2-1” (FIGURA

4), que visava o aproveitamento de água de chuva para fins potáveis e para irrigação em pequenas propriedades rurais. Até o final de 2004, mais de dois milhões de tanques para armazenar água de chuva foram construídos somente no Estado de Gansu (GNADLINGER, 2004).

Figura 4: Projeto de captação de água de chuva denominado “1-2-1”



Fonte: Gnadlinger (2004)

No Brasil, o programa ‘Um Milhão de Cisternas Rurais – P1MC’, foi criado como um programa de Formação e Mobilização Social para a Conveniência com o Semiárido. Destacando como objetivo garantir o abastecimento regular de água para um milhão de pessoas em áreas rurais do semiárido brasileiro. O programa foi concebido, executado e gerido pela ASA- Articulação no Semiárido Brasileiro, e tem parcerias com outros setores, como o governo federal, empresas e algumas ONGs. O P1MC engloba, em sua maior parte os estados da região Nordeste onde o clima semiárido possui maior intensidade, e ainda abrange o Norte do estado de Minas Gerais e uma parte do Nordeste do Espírito Santo. O programa indica a construção de cisternas de placas, sendo uma tecnologia simples e barata, com capacidade de armazenamento de 16 mil litros de água. A partir de 2011 o programa foi ampliado e denominado de “água para todos”. Porém, Cohim e Orrico (2015) propõem que uso de cisternas com volumes diferentes seria mais eficiente. De acordo com estudos feitos pelos autores, o volume armazenado de 16 mil litros não é suficiente para suprir as necessidades hídricas durante o período de estiagem em duas situações cruciais, quando a família for numerosa ou quando a área de captação (telhado) for pequena.

A cisterna é construída no entorno da casa e recolhe a água das chuvas precipitadas na área de captação, no caso o telhado, por meio das calhas instaladas aos tubos verticais que a direciona até o reservatório de armazenamento (cisternas), sendo essas construídas com placas e apresentam formato cilíndrico, são cobertas e semienterradas e podem apresentar capacidades de armazenamento variadas, sendo usuais as cisternas com capacidade de 16 m³. As placas da cisterna são pré-moldadas e construídas de cimento, sendo que a confecção destas e a montagem da cisterna são ambas realizadas pela própria comunidade. De acordo com a ASA (2017) a criação do P1MC trouxe inúmeros avanços para a sociedade do semiárido em geral, como o aumento da frequência escolar, a diminuição da incidência de doenças em virtude do consumo de água contaminada e diminuição da sobrecarga de trabalho das mulheres nas atividades domésticas. Heyworth (2001) afirma que as águas cloradas e filtradas da rede pública de abastecimento estão mais propícias a apresentar risco mais acentuado de doença gastrointestinal quando comparadas às amostras de água de chuva coletadas das cisternas.

Um estudo realizado no interior do estado de Pernambuco-Brasil comprovou a importância do uso de cisternas no armazenamento de água potável. Para isso foi levantado o número de casos totais existentes de diarreia em uma população, sendo algumas pessoas usuárias de cisternas e outras não. Foi constatado que as pessoas que utilizam a água das cisternas para beber representaram uma diminuição de ocorrência de diarreia (11%) (Marcynuk *et al.*, 2013).

3.4 Alterações da qualidade de água de chuva

A água de chuva deveria estar livre de contaminantes, porém, durante a precipitação alguns fatores contribuem para a depreciação dessa fonte, como o contato com a atmosfera, com a superfície de captação, a forma de armazenamento e o manejo.

A poluição do ar pode ser geralmente definida como a introdução de qualquer substância que venha a alterar as propriedades do ar, causando assim efeitos nocivos sobre os seres vivos de espécie animal ou vegetal, ou até mesmo que venham a provocar modificações físico-químicas no meio ambiente. Esse fator tem agravado cada vez mais os problemas como as chuvas ácidas, diminuição da camada de ozônio e efeito estufa (DUCHIADE, 1992).

Na atmosfera existem alguns poluentes na forma gasosa e outros na sólida. Alguns gases contribuem para o efeito estufa, absorvendo a radiação infravermelha, como é o

caso do CH₄ e CO₂. Além desses poluentes mencionados anteriormente tem-se os materiais particulados que podem provocar problemas no aparelho respiratório após a inalação, sendo nocivo à saúde humana (KAMPA e CASTANAS, 2008).

Como exemplo de poluição atmosférica, a China é conhecida por ser um dos países que apresenta maior poluição do ar na atualidade. Como consequência disso, algumas cidades do país entram em alerta vermelho e a medida força o fechamento de escolas, estradas, fábricas e também encoraja a população a permanecer dentro de suas residências. A “neblina” que é caracterizada por altas concentrações de PM_{2,5} (partículas poluentes microscópicas, do tamanho de 2,5 micrômetros) é composta de materiais particulados pequenos, como carbono orgânico, nitratos, sais de amônio e sulfatos, além de incluir vários elementos metálicos, tais como sódio, magnésio, cálcio, alumínio, zinco, arsênio, cádmio e cobre (ZHAO *et al.*, 2014 e HUANG *et al.*, 2014).

As fontes de poluição atmosféricas são classificadas como fixas e móveis. Sendo as fixas as indústrias, e as móveis constituem os veículos automotores como trens, aviões, e etc. Além disso, os fatores que causam a poluição atmosférica são divididos em naturais e antrópicos.

Na Europa foi realizado um estudo sobre o impacto das fontes naturais, causado devido às forças do meio, nos níveis de poluição de partícula. De acordo com o estudo, fontes como poeira produzida pelo vento, aerossol do mar e emissões biogênicas, têm um impacto bastante significativo sobre o aumento da composição do material particulado, que eleva a carga de poluição (LIORA *et al.*, 2016). Já os antrópicos, em sua grande maioria, são aqueles produzidos pela queima de combustíveis fósseis (petróleo, gás natural e carvão mineral) ou recicláveis (lenha e álcool). Vale destacar que os principais problemas envolvendo a depreciação da qualidade do ar são causados por emissões de veículos (ZHANG e BATTERMAN, 2010).

No âmbito de poluição natural, Jaques (2005) verificou que mesmo em regiões preservadas e sem alterações pela ação do homem, o pH da água pode ser alterado. Durante a sua análise foi verificado que o pH da água de chuva tinha valores próximos de 5 ou 6, levemente ácido, e isso se dava devido à presença de dióxido de carbono na atmosfera durante o evento de precipitação. O autor menciona que o valor do pH pode chegar próximo de 5,0 devido a presença de dióxido de carbono (CO₂), assim como a íons de sulfato (SO₄⁻), que reagem com a água da chuva formando ácidos que diminuem o pH.

De acordo com alguns autores, a qualidade da água de chuva além de ter relação com a atividade praticada na região, também se relaciona com padrões climáticos, como

direção e velocidade do vento. Segundo Hu *et al.*, (2003), as condições meteorológicas locais influenciam de forma significativa na composição química da água de chuva. Com um pH médio de 4,2, classificando a precipitação como ácida, o sulfato e o nitrato representam a maior parte da acidez, tendo suas contribuições de 80% e 20%, respectivamente. O estudo ainda determinou as possíveis causas dos poluentes da água de chuva, sendo uma delas a queima de biomassa.

A zona rural pode emitir para a atmosfera alguns contaminantes em elevadas concentrações devido a algumas práticas agrícolas desenvolvida no meio, afetando assim a qualidade de água de chuva, tornando-a imprópria para consumo humano. Algumas substâncias usadas como venenos, praguicidas e herbicidas, quando em altas concentrações na atmosfera, também podem contaminar a água da chuva (MALHEIROS & PHILIPP JR., 2005).

Um estudo realizado na zona rural de um município do estado de Santa Catarina, feito por Palhares (2016), mostrou uma alta correlação do nitrato com o vento, onde as altas concentrações de nitrato foram observadas no período de junho a setembro do ano de 2011, período esse em que havia bastante movimentação do solo devido ao preparo deste para o plantio de milho. As menores concentrações de nitratos ocorreram no período de janeiro a maio de 2010, já que nesse período se teve maior precipitação e foram registrados valores médios menores de velocidade do vento, o que também indica o alto poder de diluição que a chuva tem sobre a concentração do elemento. Desta forma, fica evidente que em regiões agropecuárias, a água da chuva pode apresentar significativa concentração de nitrato devido ao uso intensivo de fertilizantes.

Segundo estudo feito por Belo *et al.* (2012), agrotóxicos utilizados nas atividades agrícolas de duas cidades do estado do Mato Grosso estão comprometendo tanto o ambiente das áreas do entorno e próximas às zonas de plantio, como também estão alterando a qualidade da água de chuva. Nas amostras de água de chuva estudadas pelos autores, em mais da metade foram encontrados resíduos de agrotóxicos, o que evidencia um importante índice de contaminação. Ainda segundo os autores, a contaminação foi atribuída a volatilização dos agrotóxicos utilizados no meio rural, a acumulação em formações plúmbeas, ao transporte pelo vento e a precipitação.

Além da depreciação da qualidade da água de chuva ser diretamente ocasionada pela poluição atmosférica, há outro evento que pode diminuir a qualidade da água e chuva. Segundo Palhares e Guidoni (2012), a chuva transporta os gases e partículas dissolvidos e em suspensão na atmosfera, bem como promove a lavagem do telhado.

Esses dois eventos poderão depreciar a qualidade da água de chuva captada e armazenada. Portanto, o correto manejo da água antes do armazenamento é fundamental para conservação dos padrões de qualidade exigidos para os diversos usos.

As superfícies de captação, em geral os telhados, podem acumular sujeiras durante períodos de estiagens, como: dejetos de pássaros, folhas, além de depositar poeira no telhado. Não só o acúmulo de sujeiras, mas também os tipos de telha influenciam na qualidade da água armazenada. A ação de fatores externos da natureza sobre os materiais que compõem as telhas pode deteriorar os materiais dissolvendo-os na água e alterando assim a qualidade da água no percurso de captação (PALHARES, 2016). A qualidade da água de chuva captada do telhado por vir a ser contaminada representando risco à saúde pública se consumida sem tratamento (Alves *et al.*, 2014). Segundo Cobbina *et al.* (2015) os altos níveis de turbidez e de contaminação bacteriana que estão associados a qualidade da água de chuva armazenada em cisternas podem ser atribuídos às partículas suspensas encontradas na atmosfera, a forma de captação dessa água, aos micróbios transmitidos pelo ar e ao material fecal encontrado na área de captação.

As cisternas podem ser construídas de vários tipos de materiais diferentes, de placas pré-moldadas, tijolos, fibra de vidro, PVC, entre outras. Dependendo do estado de conservação da mesma, elas também podem alterar a qualidade da água. Outra forma de contaminação se dá através do manejo da água armazenada pelos moradores. Alves *et al.* (2014) realizou estudos nas cidades Caruaru e Pesqueira, ele monitorou sete cisternas de placas em duas comunidades rurais, onde duas cisternas eram recém construídas e as outras já tinham mais de dois anos de uso. A partir das análises realizadas, ficou evidente que o fator tempo de construção da cisterna conjuntamente com o mau estado de conservação da estrutura e a não realização da limpeza periódica pode alterar a qualidade da água armazenada. As cisternas recém construídas apresentaram valores mais elevados pH, alcalinidade e condutividade, o que provavelmente pode ter ocorrido devido a esse grupo estar mais suscetível à ação corrosiva da água ao armazenar o primeiro ciclo de chuva.

No semiárido brasileiro o telhado mais usado é o de material cerâmico, que é mais permeável que as telhas metálicas; logo, parte da água é absorvida. O escoamento das águas das chuvas sobre a cobertura de telhas cerâmicas, com alta velocidade, pode superar a resistência à abrasão do material e transportar sedimentos ao longo do seu percurso, tanto as partículas de sujeiras depositadas superficialmente, quanto do próprio material (BOULOMYTIS, 2007).

Com isso, Andrade Neto (2014) destaca que a segurança sanitária das cisternas é dependente da educação sanitária e participação social da população envolvida, bem como de um projeto com a proteção sanitária adequada e monitoramento contínuo da qualidade da água armazenada, de modo que quando houver suspeitas de contaminação ou quanto a origem das águas inseridas no reservatório for duvidosa, o tratamento é recomendado enquanto estratégia corretiva.

3.5 Barreiras Sanitárias

A água de chuva pode perder sua qualidade na própria precipitação, na sua captação, no seu armazenamento e no seu manejo, principalmente por contaminantes microbiológicos. Com isso, deve-se ter uma segurança sanitária na captação e armazenamento da água de chuva, para que assim haja uma melhoria da qualidade para posteriormente ser usada para consumo humano. Alguns cuidados básicos devem ser tomados para a melhoria da qualidade da água armazenada como limpeza do telhado, limpeza dos dutos, proteção na entrada e na saída da cisterna, uso de bombas para a retirada da água e o cuidado principal que é o desvio das primeiras águas de chuva.

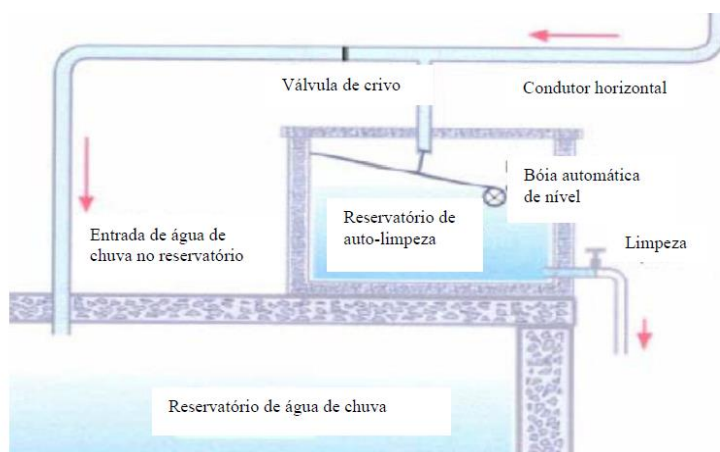
Em um estudo feito por May (2004), cuja pesquisa foi realizada no Centro de Técnicas de Construção Civil da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, cuja área de estudo (área de telhado de 82 m²). Foi investigado a qualidade da água após passar pela área de captação e seus conectores (como calha e condutor vertical), como também, saber o tempo necessário para se efetuar a limpeza do telhado após o início da precipitação. Os resultados da pesquisa mostraram que as análises físico-químicas atendiam aos padrões estabelecidos pelo CONAMA, já nos resultados bacteriológicos foram encontrados coliformes totais em mais de 89% das amostras, com resultado positivo para coliformes fecais em 50% das amostras. Em relação ao tempo máximo para limpeza do telhado a autora aconselhou o descarte dos primeiros 15 a 20 minutos de chuva, não sendo especificada a intensidade da precipitação ou a quantidade de milímetros. Vale salientar que o intervalo entre um evento de amostragem e outro foi de no mínimo dois dias sem precipitação.

O desvio pode evitar que as primeiras águas de chuva captadas possam depreciar o restante do volume de água armazenado na cisterna, uma vez que as primeiras águas de chuva carregam impurezas do telhado e da atmosfera. Tal desvio pode ser feito de forma manual ou também de forma automática, que é o mais indicado. Algumas dificuldades no

método manual do desvio são a ausência de moradores para realização do processo no início da chuva ou de ocorrência no período noturno. O desvio pode evitar que as primeiras águas de chuva captadas possam depreciar o restante do volume de água armazenado na cisterna, uma vez que as primeiras águas de chuva carregam impurezas do telhado e da atmosfera. Tal desvio pode ser feito de forma manual ou também de forma automática, que é o mais indicado. Algumas dificuldades no método manual do desvio são a ausência de moradores para realização do processo no início da chuva ou de ocorrência no período noturno.

Um dispositivo desenvolvido utilizando um sistema de boia de nível (Figura 5) foi testado por Dacach (1981). Segundo Lima (2013) no referido dispositivo a água que é captada e conduzida pelas calhas é direcionada a um condutor horizontal que encaminha a água até o mini reservatório, denominado reservatório de autolimpeza, situado antes da cisterna. Na entrada deste equipamento existe um mecanismo de controle de nível, em que no começo da precipitação se encontra vazio, e à medida em que a chuva inicia o mesmo vai acumulando água, elevando assim a boia (mecanismo de nível), até atingir o volume máximo do reservatório de autolimpeza, ocasionando o fechamento imediato da torneira-boia. Neste momento a água da chuva começa a escoar para a cisterna com água de qualidade melhor, já que as primeiras águas de chuva, águas de qualidade baixa, estão confinadas no mini reservatório. Porém, de acordo com Andrade Neto (2013), a boia interna não tem tanta funcionalidade, já que no momento que o reservatório de autolimpeza estiver na sua capacidade máxima os próximos fluxos de água serão direcionados a cisterna, independente do uso da boia automática ou não. A própria geometria do sistema irá proporcionar esse desvio das primeiras águas de chuva.

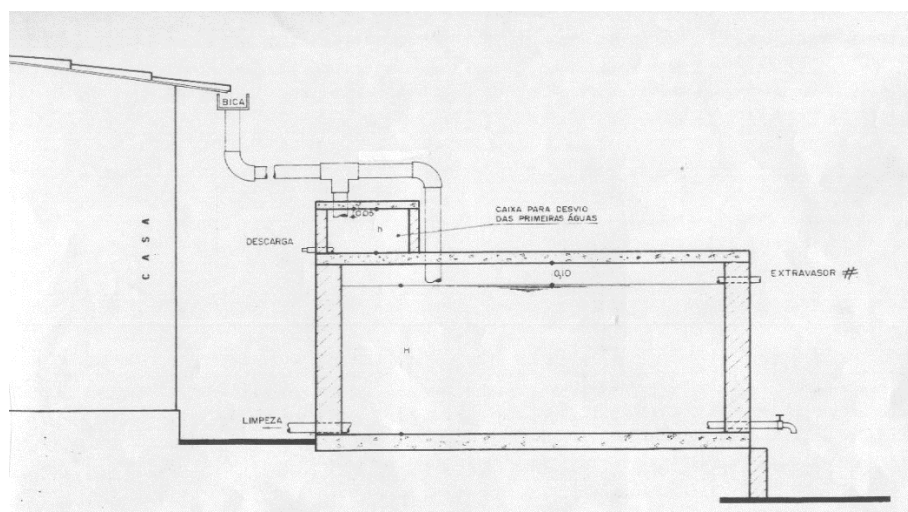
Figura 5: Esquema de cisterna com boia de nível.



Fonte: Lima (2013)

De acordo com Andrade Neto (2004), o procedimento mais seguro e eficiente de proteção sanitária antes do armazenamento é feito utilizando-se dispositivos automáticos de desvio e descarte das primeiras águas de cada chuva, conforme Figura 6. No estudo desenvolvido por Andrade Neto (2004) foi usado um mini tanque, no qual as primeiras águas de chuva são direcionadas para seu interior. Quando então o volume do mini tanque estiver preenchido, o fluxo posterior passará diretamente para a cisterna, com uma qualidade de água com menos impureza, já que os primeiros milímetros de água ficam retidos no mini tanque. Lembrando sempre que depois do fim da precipitação o mini tanque deve ser esvaziado pela tubulação de descarga e que, quando esvaziado, este deverá ser novamente fechado estando assim pronto para ser usado de forma adequada novamente.

Figura 6: Dispositivo para desvio automático das primeiras águas baseado no princípio de fecho hídrico.



Fonte: Andrade Neto (2004)

Um modelo de dispositivo de desvio dos primeiros milímetros de água de chuva também foi proposto por Martinson e Thomas (2003). Esse dispositivo se baseia no princípio de vasos comunicantes, cuja funcionalidade é a mesma proposta por Andrade Neto (2004).

Souza *et al.* (2011) fez adequações nos dispositivos baseados no princípio de fecho hídrico e de vasos comunicantes, propostos por Andrade Neto (2004) e Martinson e Thomas (2003), respectivamente. Foi constatado que ambos os modelos são eficientes na proteção sanitária das águas de cisternas, porém a primeira configuração de dispositivo mostrou-se mais eficiente do que o dispositivo de vasos comunicantes na redução de concentração de contaminantes encaminhados às cisternas, tanto em relação aos parâmetros físico químicos, quanto em relação aos parâmetros bacteriológicos.

A maioria dos dispositivos são confeccionados em alvenaria e com o tempo vão aparecendo algumas patologias construtivas, além de problemas de vedação. Esse tipo de problema gera perda de água, excedente ao volume necessário aos desvios das primeiras águas de chuva, o que faz com que não passe uma boa credibilidade à população, com isso as pessoas tendem a não utilizar esses dispositivos.

Foi pensando nessas adversidades citadas anteriormente que um grupo de pesquisadores da Universidade Federal de Pernambuco, do campus Caruaru, desenvolveu um dispositivo automático, denominado DesviUFPE (LIMA *et al.*, 2011), para desviar os primeiros milímetros de água de chuva. O referido dispositivo tem como material

construtivo tubos de PVC e se baseia em ambos princípios físicos, de vasos comunicantes e fecho hídrico. Trata-se de um mecanismo de armazenamento que precede a entrada da cisterna e para o qual são desviados automaticamente os primeiros milímetros de água de chuva. Além de ser um dispositivo de tecnologia simples, baixo custo e fácil instalação. A medida que o telhado é lavado, se processa o acúmulo da água nos tubos verticais (Figura 7), e só após estes estarem completamente cheios é que a água é direcionada para a cisterna.

Figura 7: 7-A Ilustração do dispositivo de desvio das primeiras águas desenvolvido pelos pesquisadores da UFPE. Legenda: A – telhado; B – dispositivo de desvio em PVC; C – cisterna. 7-B DesviUFPE.



Fonte: Lima *et al.* (2012)

A geometria do dispositivo possibilita seu completo esvaziamento e limpeza por descarga hidráulica. Os materiais constituintes completamente em PVC garantem estanqueidade, facilidade de montagem e desmontagem, não necessitando de mão de obra especializada.

Figura 8: Sistema de desvio das primeiras águas de chuva instalado no Campus do Agreste da UFPE.



Fonte: O autor (2017)

A seguir será mostrado o passo a passo do cálculo do volume a ser descartado para que em seguida seja feita a montagem dos tubos. Utilizando um diâmetro de 100 mm, o volume de acumulação em 1m de tubulação será obtido através da Equação (1).

$$Volume = Área_{tubo} * L_{tubo}$$

Sendo:

$$Área_{tubo} = \pi * \frac{D^2}{4} * L_{tubo}$$

Sendo o diâmetro do tubo igual a 100 mm, substituindo na expressão acima, e relacionando com a equação 1 tem-se:

$$Volume = \pi * \frac{(0,1)^2}{4} * 1$$

Volume = 0,007854 m³, ou

Volume = 7,854 litros

Logo, em cada metro de tubo com diâmetro de 100 mm serão acumulados 7,854 litros de água.

Para se obter a quantidade de tubos, a variável principal é a área do telhado.

O volume de descarte depende da área de captação, utiliza-se então uma segunda, a Equação 2. No cálculo foram consideradas uma altura de precipitação de 1 mm (1litro.m⁻²) e uma área do telhado em cada caso na unidade de (x) m².

$$Volume_{descarte} = Area_{telhado} * Altura_{telhado} \\ Volume_{descarte} = (Xm^2) * 1 \left(\frac{l}{m^2} \right) \\ = Xl$$

$$Volume_{descarte} = X \text{ litros}$$

Em seguida, será calculada a quantidade necessária de tubos PVC.

$$Quantidade_{tubos} = \frac{Volume_{descarte}}{Volume_{tubo}}$$

$$Quantidade_{tubos} = \frac{X}{7,854}$$

As primeiras pesquisas utilizando o DesviUFPE, foram desenvolvidas no semiárido pernambucano, na zona rural das cidades de Caruaru - PE e Pesqueira – PE; e na instalação experimental de Cisternas da UFPE. O dispositivo foi capaz de reduzir em 67%, 63%, 94% e 100%, respectivamente a cor, a turbidez, os coliformes termotolerantes e *Escherichia Coli*, que seriam encaminhados à cisterna (LIMA, 2012).

Utilizando o mesmo dispositivo de desvio automático das primeiras chuvas, DesviUFPE, Alves *et al.* (2014) divulgou um estudo onde foi monitorada a qualidade de água de chuva em sete cisternas, em apenas uma delas foi instalado o desviUFPE. O experimento foi realizado no semiárido pernambucano durante um período de tempo de 4 anos. Os resultados indicaram presença de coliformes totais em todas as amostras, e *E. coli* em 73,8% do total. Porém, a cisterna na qual foi instalado o dispositivo de descarte das primeiras águas apresentou os menores teores de contaminantes para coliformes totais, cerca de três vezes menos, quando comparada com as demais cisternas.

Um estudo recente realizado por Silva *et al.* (2017), analisou a qualidade da água desviada do sistema de armazenamento, com o emprego de três tipos de dispositivos de descarte automático: um baseado no princípio de fecho hídrico (ANDRADE NETO, 2004), um baseado no princípio dos vasos comunicantes (CEPFS, 2017) e o terceiro baseado em ambos os princípios físicos, o DesviUFPE. Em relação aos parâmetros de Cor real, Cor aparente, Condutividade elétrica e alcalinidade total, o dispositivo baseado no princípio dos vasos comunicantes e DesviUFPE apresentaram as menores concentrações na água que era conduzida para a cisternas, após a retenção do primeiro milímetro. Com relação aos microrganismos patogênicos, o emprego de qualquer uma das três barreiras sanitárias em estudo são suficientes para reduzir altamente o teor de coliformes e *E. Coli*, tendo valores de eficiências de pelo menos 99% para ambos os indicadores. Os autores ainda fizeram em paralelo um monitoramento da água que não

passava por nenhum dispositivo de desvio dos primeiros milímetros, obtendo assim valores maiores (1×10^6 NMP/100 mL, para coliformes totais) do que os obtidos para as outras amostras que encontravam-se armazenadas em cisternas (1×10^4 NMP/100 mL, para coliformes totais) após utilização de algum tipo de dispositivo automático sobre os parâmetros apresentados, o que torna comprovado a necessidade do emprego de qualquer que seja a barreira sanitária.

3.6 Veranico

Durante a estação chuvosa pode ocorrer períodos secos com forte insolação e evapotranspiração, o que pode exercer grande influência sobre a qualidade de água de chuva que está sendo direcionada à cisterna, a esse fenômeno denomina-se de veranico (SILVA & RAO, 2000).

Alguns estudos foram desenvolvidos sobre a climatologia dos veranicos. Um deles é de Silveira *et al.* (2004), no qual foi computado dados pluviométricos durante um período de quarenta anos em estações localizadas nos municípios de Penedo e São Miguel dos Campos, ambos no estado de Alagoas, e os autores analisaram a frequência de ocorrência de veranicos de diferentes durações. Com isso, identificaram que para os municípios de Penedo e São Miguel os registros apontam a ocorrência de veranicos de, no máximo, 15-17 e 18-20 dias, respectivamente.

Menezes *et al.* (2008), conduziu um estudo a partir de séries climatológicas de precipitação de diferentes postos pluviométricos. Com isso, foi verificado a distribuição temporal dos veranicos em que os autores tentaram encontrar suas causas, correlacionando-as com as anomalias de temperatura da superfície do mar, assim como os efeitos do fenômeno sobre a produção agrícola. Durante o estudo foi identificado que o Sertão e o Alto Sertão Paraibano apresentam a média de 12,6 e 15,1 dias, respectivamente, para os máximos veranicos.

De acordo com Soares e Nóbrega (2010), o número de veranicos por estação chuvosa tem relação inversamente proporcional com a duração desses veranicos, quer dizer, quando ocorrerem mais veranicos em um determinado ano, menores eles serão, enquanto quando ocorrerem poucos veranicos em um determinado ano, estes terão períodos longos de duração. Essa afirmativa é válida para o Sertão Pernambucano, haja visto que os autores concluíram que na região sul do Sertão Pernambucano, nas

proximidades do Rio São Francisco, há maior quantidade de dias sem chuva no período chuvoso.

Durante o veranico, ocorre a deposição de sedimentos sobre a superfície de captação. A ausência de água de chuva contribui para o aumento da concentração de contaminantes. Então, assim que ocorrer o evento de precipitação toda sujeira que foi formada durante o período de estiagem será carregada para dentro da cisterna.

Dessa forma, fazer o desvio das primeiras águas de chuva é de grande importância, mas é de maior importância ainda, conhecer o período de duração do veranico que justifica a realização de um novo descarte das primeiras águas de chuva. O conhecimento da duração do tempo necessário para efetivar um novo descarte trará para a população uma água de melhor qualidade, como diminuição de doenças diarreicas, melhor qualidade de água para cozimento, etc. Tal fator reforça a necessidade de desvio do primeiro milímetro da água de chuva para adequação de sua qualidade para fins mais restritivos.

3.7 DesviUFPE modificado

Um estudo realizado por Carvalho *et al.* 2014, onde foi monitorado a qualidade de água armazenada em cisternas que usavam o DesviUFPE como barreira sanitária, e a partir de então fez-se um comparativo com outro grupo de cisternas que não utilizam nenhum tipo de barreira sanitária. Foi visto que as cisternas que utilizam o DesviUFPE apresentaram valores de cor aparente e turbidez, respectivamente de 30% e 57% inferiores aos obtidos nas cisternas que não fizeram uso do desvio. Já em relação aos parâmetros bacteriológicos houve uma redução na concentração de coliforme média de três vezes nas cisternas que utilizam o DesviUFPE, quando comparada ao grupo de cisternas que não utilizam a barreira sanitária.

Apesar dos resultados do DesviUFPE serem significativos no que diz respeito a remoção de contaminantes de sólidos em suspensão e microrganismos patogênicos, como mencionados anteriormente, é de extrema importância tentar aperfeiçoar novas técnicas que possam conduzir uma melhoria na remoção desses indicadores de qualidade sanitária da água que está sendo armazenada em cisternas. A partir de então foi estabelecida uma modificação no DesviUFPE para uma possível melhoria na remoção dos parâmetros relacionados aos sólidos suspensos.

4 MATERIAL E MÉTODOS

Para título de conhecimento, parte do trabalho desenvolvido na presente dissertação já foi publicado e encontra-se apresentado no Anexo 1 (artigo publicado na revista “Associação brasileira de águas subterrânea”, sendo o título do trabalho: COMPORTAMENTO DE DISPOSITIVOS DE DESVIO DAS PRIMEIRAS ÁGUAS DE CHUVA COMO BARREIRAS SANITÁRIAS PARA PROTEÇÃO DE CISTERNAS).

4.1 Descrição da Pesquisa

O presente trabalho teve como base estudos que foram iniciados em 2007 por pesquisadores do Centro Acadêmico do Agreste (UFPE-CAA), com projetos voltados para a qualidade de água armazenada em cisternas, dando assim continuidade às pesquisas realizadas anteriormente, porém com algumas inovações.

Para tanto foi utilizado o DesviUFPE como barreira sanitária e foi dividido em três etapas distintas, uma parte dela realizada em escala real, na zona rural de Caruaru-PE e as outras duas na Instalação Experimental de Cisternas (IEC) que pertence ao Laboratório de Engenharia Ambiental (LEA), ambos localizados no Centro Acadêmico do Agreste (CAA) da UFPE. O esquema ilustrado na Tabela 1 mostra as divisões das atividades.

Tabela 1: Divisões das atividades

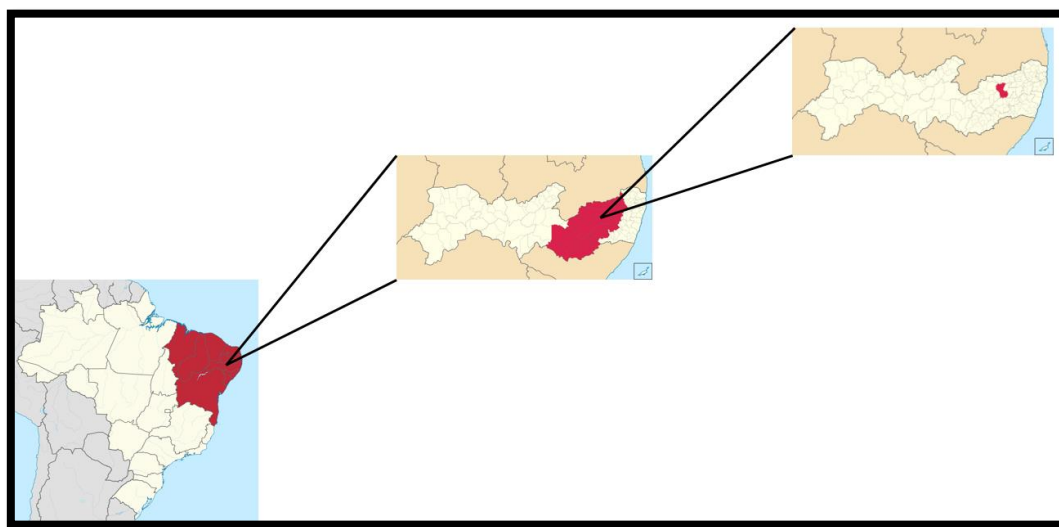
ETAPAS	OBJETIVO
ETAPA 01	Monitorar a qualidade de água armazenada nos dispositivos de desvio e cisternas localizados na zona rural de Caruaru.
ETAPA 02	Determinar quantos dias sem precipitação (VERANICO), subsequentes de uma chuva, são suficientes para a deterioração da qualidade da água aspergida.
ETAPA 03	Analisar a capacidade de retenção de sólidos flotantes no DesviUFPE após modificação em sua estrutura original.

Fonte: O autor (2017)

O município de Caruaru está localizado na mesorregião do Agreste Pernambucano, a uma distância de aproximadamente 130 km da capital do estado, Recife. Caruaru apresenta clima tropical do tipo semiárido, temperatura média anual de 23,5°C e índice pluviométrico médio de 484 mm. A cidade e região estão sujeitas ao regime de chuvas de outono-inverno, típicas do Nordeste. Essas precipitações estão mal distribuídas ao longo do ano, com as maiores concentrações entre os meses de março a julho. A altitude média

é de 554 metros acima do nível do mar. Além disso, estão presentes as vegetações nativas e típicas da Mata Atlântica e Caatinga (IBGE, 2016). Segundo o IBGE, a população estimada é de 351.686 habitantes, representando o quarto maior município do estado. A Figura 9 ilustra a localização da região nordeste no mapa do Brasil, com destaque para o Agreste Pernambucano e o município de Caruaru.

Figura 9: Localização do Estado de Pernambuco, com destaque para a região do Agreste Pernambucano, município de Caruaru - PE

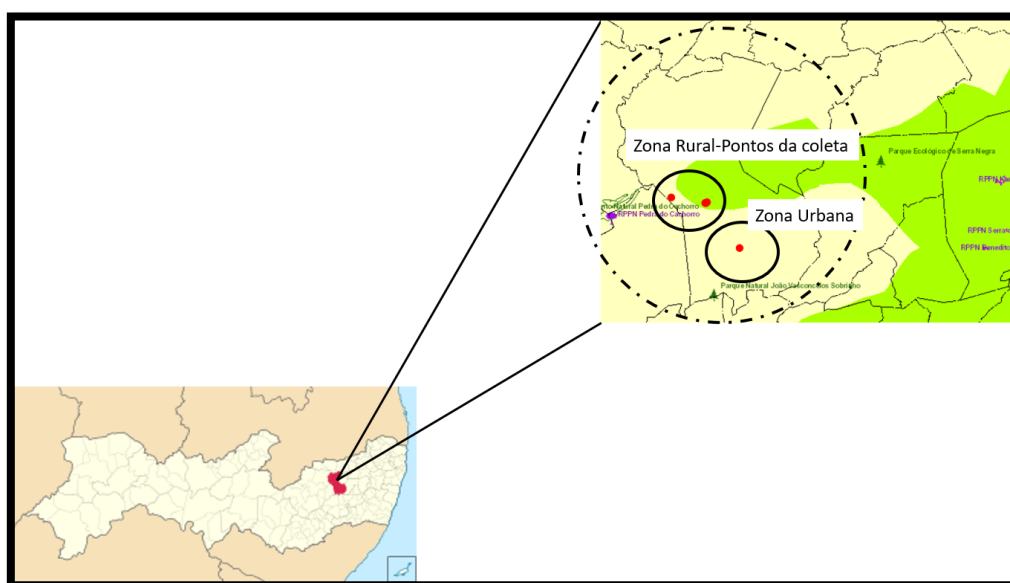


Fonte: O autor (2017)

4.2 Monitoramento da qualidade da água armazenada em cisternas na zona rural de Caruaru

O monitoramento da qualidade da água foi realizado em duas residências (R1 e R2) localizadas na comunidade de Lajedo do Cedro, zona rural do município de Caruaru-PE (Figura 10).

Figura 10: Localização dos pontos de coleta, Zona Rural-Caruaru



Fonte: O autor (2017)

O descarte dos primeiros milímetros de água de chuva é feito utilizando o DesviUFPE. As duas residências fazem o armazenamento da água da chuva em cisternas de placas de concreto (R1 e R2). A Figura 11 apresenta fotografias que ilustram os 2 pontos de coleta e seu entorno.

Figura 11: Fotografias ilustrativas do DesviUFPE instalado em 2 residências na zona rural de Caruaru-PE: (a); residência R1, com cisterna (b) residência R2, também com cisterna.



(a)



(b)

Fonte: O autor (2017)

A água armazenada devia ser exclusivamente de chuva, porém devido a períodos longos de estiagem, os moradores que possuem cisternas armazenaram água de outras fontes, como as águas fornecidas por meio de carro-pipa para suprir o problema de falta de abastecimento. Com isso, quando houve a ocorrência de chuva a água das cisternas passou a ter uma parte do volume proveniente de carro-pipa e outra de água de chuva.

Esses pontos de coletas foram escolhidos por fazerem parte do conjunto de cisternas monitoradas pelo grupo de pesquisa em cisternas da UFPE. Em cada ponto foram realizadas duas coletas: uma do primeiro milímetro de água de chuva que fica retida no DesviUFPE (DESVIO) e a outra do segundo milímetro, ou seja, do volume excedente em relação ao que ficou armazenado no desvio (APÓS DESVIO). Sendo o excedente nos pontos R1 e R2 coletados no interior das cisternas, vale salientar que as cisternas são construídas de placas de concretos e os telhados são de cerâmica vermelha. Foram realizadas três coletas referentes aos meses de Fevereiro, Abril e Maio, cuja intensidade pluviométrica acumulativa mensal foi de 16,5mm, 31,4mm, 237,4mm, respectivamente. A Tabela 2 traz alguns aspectos relevantes em relação aos pontos de coleta.

Tabela 2: Características dos pontos de coleta

Pontos	Forma de armazenamento	Forma de captação da água	Idade da cisterna	Aspectos estruturais da cisterna	Características do entorno do armazenamento
R1	Cisterna	Bomba manual	Oito anos	Início de uma degradação, aparecimento de fissuras e trincas.	Pouca arborização nas proximidades e estrada não asfaltada.
R2	Cisterna	Bomba manual	Quatro anos	Bem conservada	Muita arborização nas proximidades, estrada não asfaltada, próximo de criadouro de gado

Fonte: O autor (2017)

Os materiais utilizados para coleta foram recipientes de polietileno com capacidade para 500 mL (análises bacteriológicas) e 1000 mL (análises físico-químicas), todos previamente esterilizados em autoclave a 121°C e 1 atm por 15 minutos. Depois da coleta, as amostras foram acondicionadas em caixas térmicas e encaminhadas para análise. Os parâmetros analisados estão listados na Tabela 3 e seus respectivos limites estabelecidos pela Portaria do MS N°2914/2011. Todos os parâmetros foram analisados de acordo com o Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 2012). As análises bacteriológicas foram realizadas em capela de fluxo laminar fazendo-se uso de kits CHROMOCULT de membranas filtrantes para investigação de *E. coli* e coliformes totais. Após o tempo de incubação (24h a 35°C), foi utilizado um contador manual de colônias para a contagem de Unidades Formadoras de Colônias (UFC).

Tabela 3: Parâmetros monitorados e seus respectivos limites estabelecidos pela Portaria.

Tipo de parâmetro	Parâmetro	Unidade	Limites Portaria N° 2914/11
Físico-químicos	pH	*	6,0-9,5
	Condutividade	µS/cm	*
	Turbidez	NTU	5
	Alcalinidade Total	mg CaCO ₃ /L	*
	Cloretos	mg Cl-/L	250
	Dureza	mg CaCO ₃ /L	500

	Sólidos Dissolvidos totais	mg/L	1000
Bacteriológicos	Coliformes totais	UFC/100ml	Ausência em 100ml
	E. coli	UFC/100ml	Ausência em 100ml

Fonte: O autor (2017)

4.3 Determinação de quantos dias sem precipitação (VERANICO) são suficientes para a deterioração da qualidade da água aspergida

Depois de fazer o uso de uma barreira sanitária para melhoria da qualidade da água de chuva, usando o DesviUFPE, como foi abordado no item anterior, essa próxima etapa da pesquisa requer determinar quantos dias sem precipitação serão suficientes para deteriorar a qualidade da água de chuva, ou seja, no intervalo de quantos dias sem precipitação (VERANICO) pode-se esvaziar o DesviUFPE e deixa-lo pronto para realização de um novo descarte das primeiras águas de chuva.

Esta etapa foi realizada na Instalação Experimental de Cisternas (IEC) (Figura 12) do Laboratório de Engenharia Ambiental da UFPE.

Figura 12: Instalação Experimental de Cisternas (IEC) do LEA-UFPE.



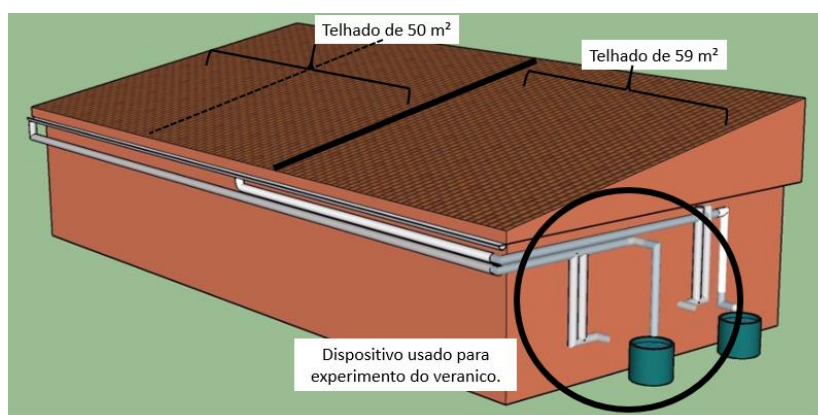
Fonte: Banco de dados do LEA-UFPE (2015)

A IEC é composta por uma edificação térrea com dois telhados independentes de áreas de 50 m² e 59 m², ambos cobertos com telhas cerâmicas sobre os quais estão dispostos aspersores que, uma vez acionados, vertem água por toda a superfície.

Constituem complementos importantes para o adequado funcionamento da IEC: tanque de armazenamento da água a ser aspergida, bomba, manômetros, dutos e cisternas.

Nesta etapa do trabalho foi analisada a interferência do veranico na qualidade da água armazenada, com simulação de chuvas realizadas em distintos intervalos de tempo (períodos de estiagem). Esses por sua vez foram divididos em: 1 dia, 2 dias, 3 dias, 4 dias, 5 dias, 6 dias e 7 dias. Para esse estudo utilizou-se apenas a metade do telhado de 50 m² (Figura 13), já que a outra parte da área de captação estava sendo utilizada para outros fins.

Figura 13: Telhados da IEC

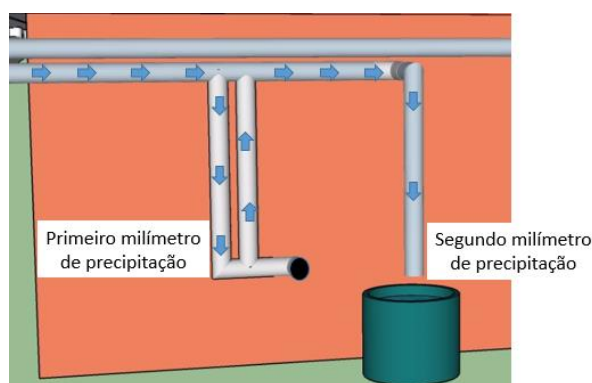


Fonte: O autor (2017)

A simulação de chuva se deu com a aspersão de água fornecida pela Companhia pernambucana de saneamento, COMPESA, no telhado da IEC. O sistema de aspersores fixos foi distribuído uniformemente sobre as áreas de captação dos telhados e lançaram água em ângulos horizontais e verticais pré-definidos para garantir que todo o telhado fosse abrangido, sendo eles: de 360° na parte central, de 180° nas bordas do telhado e de 90° nas quinas. Os aspersores foram instalados a 40 cm acima da área de captação, para garantir que houvesse o mínimo possível de perdas de água pelo sistema, pois se a altura dos aspersores fosse muito grande muita água seria jogada para fora do telhado. Para controle da vazão e aferição do volume de água utilizado na simulação pluviométrica, instalou-se na tubulação de recalque um hidrômetro volumétrico e a montante um medidor de pressão, com a finalidade de monitorar e controlar a intensidade da chuva simulada. Durante a simulação de chuva, devido à inclinação do telhado, a água percorre toda a área de captação em direção às calhas, para então ser direcionada ao DesviUFPE, o qual é empregado como barreira sanitária, e em seguida ao balde, que foi o meio de coleta utilizado para armazenar o excedente ao primeiro milímetro de chuva.

Tem-se assim dois pontos de coleta: o interior do DesviUFPE, que armazenou o primeiro milímetro de precipitação, e balde de polietileno que armazenou o segundo milímetro de precipitação (Figura 14). Coletou-se três amostras em cada um dos pontos. Dessa forma, foi possível avaliar o comportamento do acúmulo dos poluentes presentes na atmosfera e na superfície de captação (telhado) em intervalos de tempo pré-determinados e sem precipitação, além de analisar a eficiência da retenção desses poluentes no DesviUFPE.

Figura 14: Pontos de coletas



Fonte: O autor (2017)

Como já foi mencionado, para se obter a quantidade de tubos, a variável principal é a área do telhado, logo, o volume descartado depende da área de captação. Para efetuar o cálculo foram considerados uma altura de precipitação de 1 mm (1litro/m²). A área do telhado inicialmente tinha 50 m², porém foi dividida em duas áreas de 25 m² cada. Logo no cálculo a seguir foi utilizado uma área de (25) m². A inclinação do telhado foi desconsiderada no cálculo.

Sendo assim:

$$Volume_{descarte} = Area_{telhado} * Altura_{precipitação} = (25m^2) * 1 \left(\frac{l}{m^2} \right)$$

$$Volume_{descarte} = 25 \text{ litros}$$

Em seguida, foi calculada a quantidade necessária de tubos PVC.

$$Quantidade_{tubos} = \frac{Volume_{descarte}}{Volume_{tubo}}$$

O volume de tubos foi calculado considerando o volume de armazenamento em um tubo de 1 m com diâmetro de 100mm.

$$Quantidade_{tubos} = \frac{25}{7,854} = 3,18m$$

Assim, a tubulação de PVC teve comprimento igual a 3,18 m. Com isso, optou-se por utilizar dois tubos de PVC com 1,60 m cada um.

Os parâmetros analisados estão listados na Tabela 4. As análises foram realizadas de acordo com o Standard Methods for the Examination of water and Wastewater (APHA, 2012). Os materiais utilizados para coleta foram recipientes de polietileno com capacidade para 1000 mL (análises físico-químicas), todos esterilizados em autoclave a 121°C e 1 atm por 15 minutos.

Tabela 4: Parâmetros monitorados durante o veranico

	PARÂMETROS	Unidade
Parâmetros físico-químicos	pH	*
	Condutividade	µS/cm
	Turbidez	NTU
	Cor Real	mg Pt-Co/L
	Cor Aparente	mg Pt-Co/L

Fonte: O autor (2017)

Todo o trabalho foi simulado, sendo assim, em caso de haver uma precipitação natural, os dias de veranico passaram a ser contados a partir do encerramento do evento chuvoso. Não foi realizada nenhuma contaminação artificial na água aspergida ou no telhado, sendo, portanto, considerada a contaminação proveniente apenas das condições atmosféricas locais.

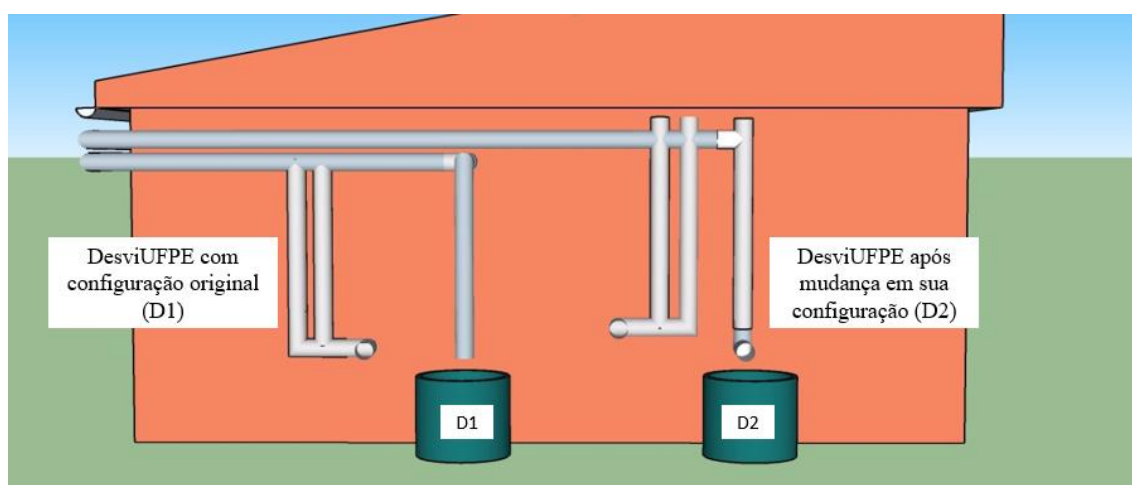
Lima (2012), propôs uma curva para estabelecer a intensidade pluviométrica do sistema da instalação experimental a partir da pressão no barrilete. Durante o presente experimento a pressão no barrilete foi de 10 mca o que corresponde a uma intensidade de 39,81mm/h, calibração baseado no estudo feito por Lima (2012). A intensidade pluviométrica é considerada alta quando comparada com a escala real, visto que a ocorrência de uma chuva com intensidade superior a 30,81 mm/h na região do estudo ocorre em média duas vezes ao ano.

A duração da precipitação não foi cronometrada, pois o tempo a se encerrar o experimento foi determinado com o armazenamento do segundo milímetro. Para isso marcou-se no balde de coleta o volume correspondente o segundo milímetro e quando esse volume era atingido a estação experimental era desligada.

4.4 Análise da capacidade de retenção de sólidos flotantes no DesviUFPE após modificação em sua estrutura

Esta etapa do estudo consistiu em fazer uma modificação do dispositivo de desvio, DesviUFPE, para uma possível melhoria da eficiência do mesmo na retenção de materiais flotantes e em paralelo fazer o experimento com o desvio utilizando sua configuração original (Figura15). Nessa etapa, os experimentos também foram realizados na estação experimental de cisternas (IEC).

Figura 15: Dispositivos utilizados no estudo



Fonte: O autor (2017)

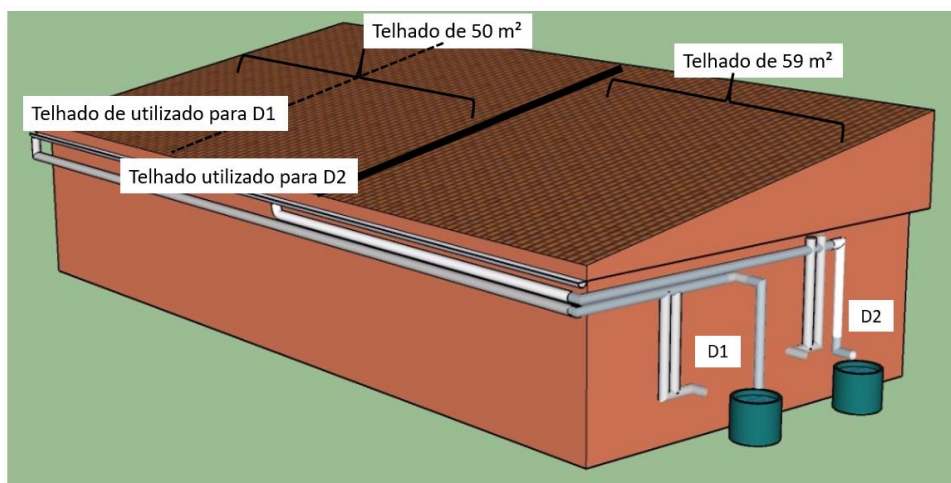
Primeiramente, foi feita uma modificação no desvio de acordo com a Figura 15. O DesviUFPE modificado, difere na geometria da configuração original no que diz respeito a uma cruzeta que foi utilizada na parte superior de cada tubo, em que os “braços” da cruzeta se encontram na mesma cota da calha. A modificação reside no fato de que, de acordo com fatores físicos e hidráulicos, na parte superior da cruzeta, devem ficar retidos os materiais flotantes que foram carregados da área de captação juntamente com os outros sólidos leves suficiente para flotar. Na parte de superior da cruzeta, foi utilizada uma

tampa rosqueável e feito um orifício, de aproximadamente 1mm de diâmetro, no centro da tampa para igualar a pressão atmosférica com a pressão no interior do tubo.

A simulação de chuva também se deu com a aspersão de água fornecida pela COMPESA no telhado da IEC, semelhante ao que foi realizado no experimento do veranico, descrito anteriormente.

O primeiro teste foi realizado com dois dispositivos de desvio com capacidade para armazenar 1 mm da água de chuva cada. Sendo um deles o DesviUFPE (D1) com a configuração original e o outro, também DesviUFPE, porém com a já descrita mudança, realizada em sua estrutura (D2). O telhado utilizado possuía 50 m² de área, sendo que cada desvio teve área de influência de 25 m² (Figura 16).

Figura 16: Divisão do telhado utilizado para o experimento



Fonte: O autor

Esse teste foi feito com bolas de espuma de poliestireno, o popular isopor, que é um plástico à base de petróleo feito a partir do monômero de estireno. Esse material foi escolhido por apresentar baixa densidade, entre 10 e 30 kg/m³ e por não ser higroscópico, ou seja, mesmo quando imerso em água o isopor absorve apenas pequena quantidade de água. Durante os testes, 70 cubos de isopor de 1 cm de lado foram espalhados em cada cruzeta do DesviUFPE modificado, sendo 30 cubos em cada uma, para que fosse possível analisar quantitativamente a eficácia do desvio em reter tal material flotante. Para análise deste teste, foi contada a quantidade de cubos recuperada no interior do desvio D2, bem como 2º milímetro.

Após concluir essa parte do estudo foi feita uma contaminação artificial no telhado (folhas e outros materiais leves encontrados no entorno da cisterna) para avaliar a eficiência dos dispositivos na retenção de materiais flutuantes naturais.

Foram coletadas amostras em dois pontos: no interior de cada desvio, que armazena o primeiro milímetro de precipitação e em balde de plástico, que armazenou o segundo milímetro de precipitação. Esse experimento foi repetido três vezes e cada uma das vezes foram coletadas três amostras em cada ponto, para se ter uma segurança e confiabilidade dos dados. A intensidade pluviométrica foi igual a 39,81 mm/h o que corresponde ao uma pressão no barrilete de 10 mca.

Os parâmetros analisados estão listados na Tabela 5. As análises seguiram de acordo com o Standard Methods for the Examination of water and Wastewater (APHA, 2012). Os materiais utilizados para coleta foram recipientes de polietileno com capacidade para 1000 mL (análises físico-químicas), todos esterilizados em autoclave a 121°C e 1 atm por 15 minutos.

Tabela 5: Parâmetros monitorados

	PARÂMETROS	Unidade
Parâmetros físico-químicos	pH	*
	Condutividade	µS/cm
	Turbidez	NTU
	Sólidos Suspensos totais	mg/L
	Sólidos Dissolvidos totais	mg/L
	Cor Real	mg Pt-Co/L
	Cor Aparente	mg Pt-Co/L

Fonte: O autor

5 RESULTADOS

Neste capítulo serão apresentados os resultados referentes às três etapas da pesquisa. Sendo elas: (i) monitoramento da qualidade de água armazenada nos dispositivos de desvio e nas cisternas na zona rural de Caruaru; (ii) determinação de quantos dias sem que ocorra a precipitação, subsequentes a uma chuva, serão suficientes para a deterioração da qualidade da água (VERANICO); (iii) análise da capacidade de retenção de sólidos flotantes no desviUFPE após modificação em sua estrutura original.

5.1 Monitoramento da qualidade de água armazenada em cisternas na zona rural de Caruaru

Os resultados dos parâmetros físico-químicos e bacteriológicos obtidos nas amostras da água coletada nas duas residências são aqui apresentados e discutidos com base na média aritmética e desvio-padrão do período de monitoramento de cada ponto (Tabela 6).

	Unidade	R1		R2		Quantidade de amostras analisadas
		1º mm	C1*	1º mm	C2*	
pH	*	6,9±0,1	7,3±0,1	7,0±0,6	7,6±0,0	3
Condutividade	µS/cm	45,5±2,7	45,5±2,73	47,8±5,0	104,0±7,0	3
Turbidez	NTU	45,2±9,6	2,6±0,5	85,4±12,2	6,2±0,5	3
Alcalinidade Total	mgCaCO ₃ /L	47,3±9,3	96,0±10,2	58,7±7,4	106,7±2,5	3
Cloretos	mgCl-/L	10,8±1,0	40,7±1,0	12,9±1,8	62,0±2,0	3
Dureza	mgCaCO ₃ /L	66,7±2,7	55,5±3,1	89,6±7,0	113,8±4,1	3
Sólidos Dissolvidos Totais	mg/L	157,3±11,5	131,3±30,5	126,0±20,0	105,3±33,2	3
Cor Real	(mg/L Pt-Co)	15,00±3,0	3,67±1,2	17,00±5,6	11,00±7,0	3
Cor Aparente	(mg/L Pt-Co)	121,3±53,4	42,3±18,6	178,3±54,8	56,0±31,0	3
Coliformes	UFC/100mL	3,9x10 ⁴ ± 1,5 x10 ³	3,6 x10 ³ ± 2,0 x10 ³	2,7 x10 ⁵ ± 2,1 x10 ⁴	2,6 x10 ⁴ ± 3,6 x10 ³	3
E. coli	UFC/100mL	1,5 x10 ⁴ ± 4,0 x10 ²	2,3 x10 ² ± 4,0 x10 ²	1,0 x10 ³ ± 0,0+00	1,0 x10 ³ ± 0,0+00	3

Tabela 6: Resultado dos parâmetros físico-químicos e bacteriológicos obtidos nas amostras de água coletada no 1º milímetro e excedente nas cisternas na zona rural de Caruaru-PE. C1* e C2*, excedente ao primeiro milímetro armazenado em cisterna, no ponto 1 e 2, respectivamente.

Fonte: O autor (2017)

5.1.1 Resultados dos parâmetros físico-químicos

Quando se diz respeito ao padrão de potabilidade, o Ministério da Saúde não recomenda valores de referência para condutividade e alcalinidade, porém recomenda limites de pH para águas para o consumo humano esteja entre 6,0 e 9,5.

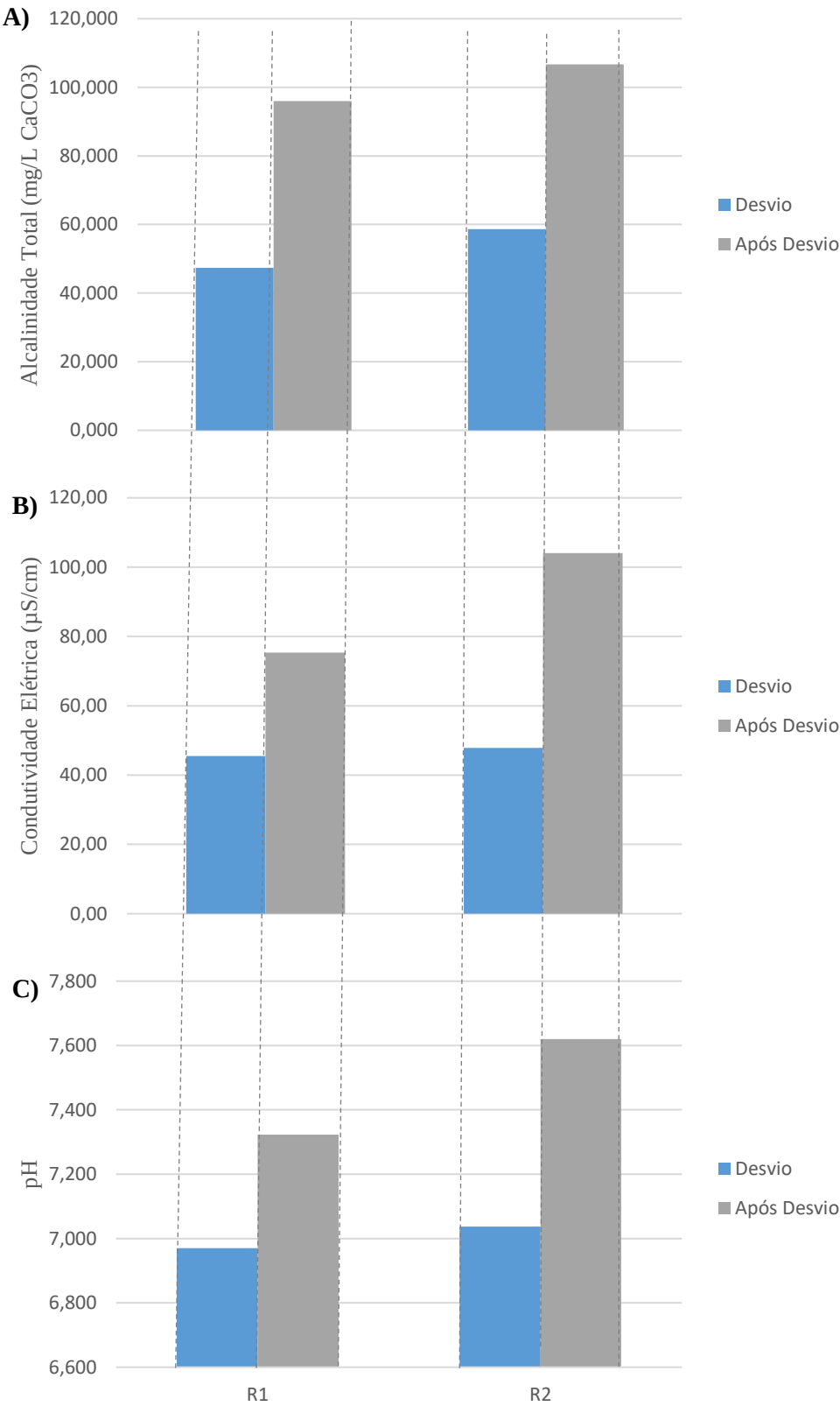
No presente estudo o pH variou de 6,90 até 7,62 (Figura 17-C), atendendo a Portaria N° 2914/2011 em 100% das amostras durante o monitoramento. Em um estudo realizado por Santos (2008), identificou-se que a água da chuva quando armazenada em cisternas possuía pH com valores entre 7,5 e 9,5. Apesar dos compostos presentes na atmosfera tenderem a conferir uma característica mais ácida à água de chuva, no presente trabalho após contato com a superfície de captação e mesmo durante o armazenamento o pH foi modificado, tanto pela influência do material que compõe essas áreas como também por impurezas que são encontradas nas mesmas.

Em relação aos parâmetros de condutividade variaram de 45 até 104 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Figura 17-B) e de 47,3 até 106,6 para alcalinidade (Figura 17-A). Já em relação ao parâmetro de cloretos a legislação determina o limite estabelecido de 250 mg Cl-/L, de acordo com a portaria N° 2914/2011, do Ministério da Saúde. Sendo assim todas as amostras estiveram dentro do limite estabelecido pela portaria para o indicativo de cloretos (Figura 17-E). Como era esperado, por se tratar de armazenamento de água de chuva em cisternas, houve um aumento nos valores encontrados quando comparadas as amostras do desvio e após desvio (cisterna), para condutividade, alcalinidade e cloretos. Esse comportamento está associado à constante dissolução de substâncias presentes na composição do cimento, como o carbonato de cálcio. Associada à ocorrência de chuva, quanto menor a idade da cisterna maior a dissolução desses compostos (LIMA, 2012). Além da água de chuva, as cisternas encontravam-se com águas de fontes desconhecidas, como caminhões pipas, e essas por sua vez, adicionam hipoclorito de sódio na água, com a finalidade de aumentar a segurança sanitária destas águas, o que evidencia um aumento do teor de cloretos comparando os valores do desvio e após desvio (cisterna).

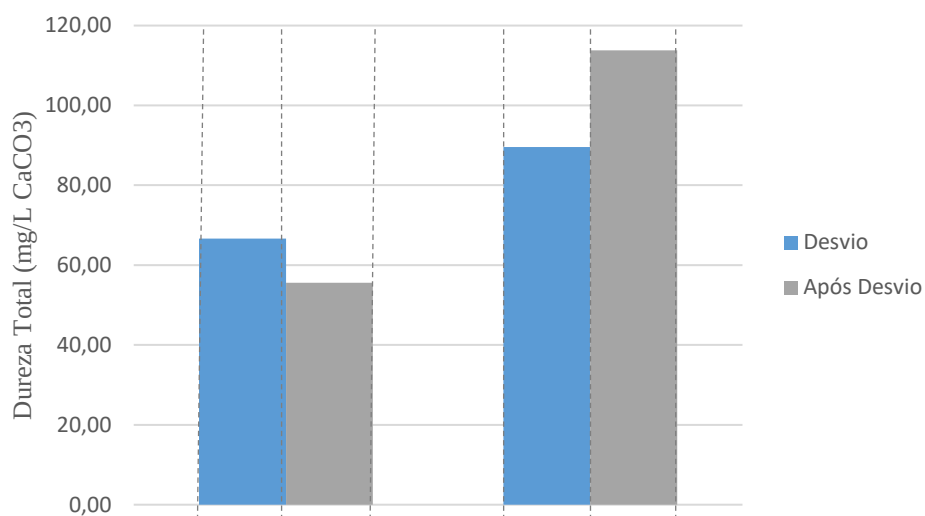
O limite máximo estabelecido pela Portaria N° 2914/2011 do Ministério da Saúde para dureza é de 500 mg CaCO_3/L . Todos os pontos analisados se mantiveram dentro do limite estabelecido pela legislação (Figura 17-D). Um estudo realizado por Xavier (2010), fazendo uma comparação da qualidade de água durante o período de estiagem e quando ocorreram as chuvas, mostrou que nos meses de estiagem nos quais ocorria o abastecimento por carro-pipa, os valores médios de dureza eram mais altos (192 mg

CaCO₃/L). Já nos períodos chuvosos essa dureza diminuía (112 mg CaCO₃/L). Lima (2012) reforçou tal ideia fazendo um estudo em um grupo de cisternas no agreste pernambucano, com monitoramento de dois anos, e verificou que a ocorrência de precipitação causou a redução da concentração de dureza.

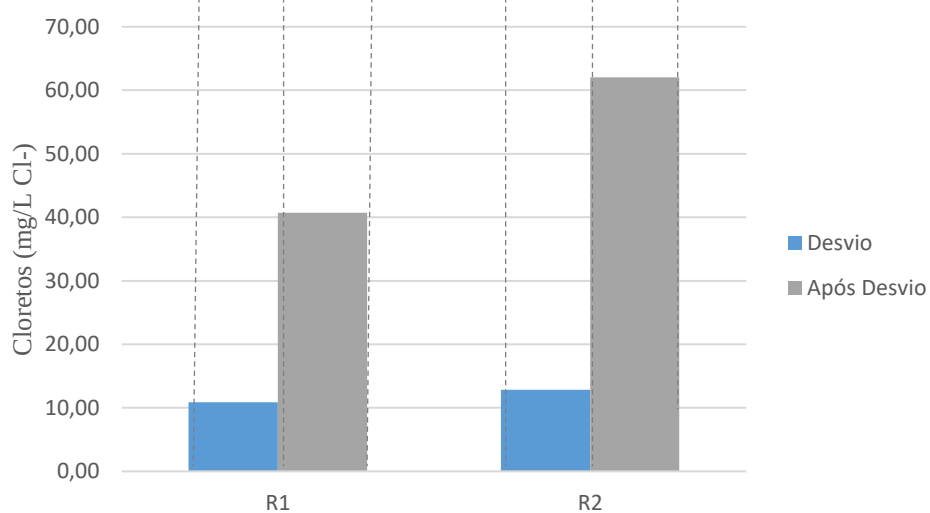
Figura 17: Ilustração dos parâmetros físico-químicos. Figura A: Alcalinidade. Figura B: Condutividade. Figura C: pH. Figura D: Dureza Total. Figura E: Cloretos



D)



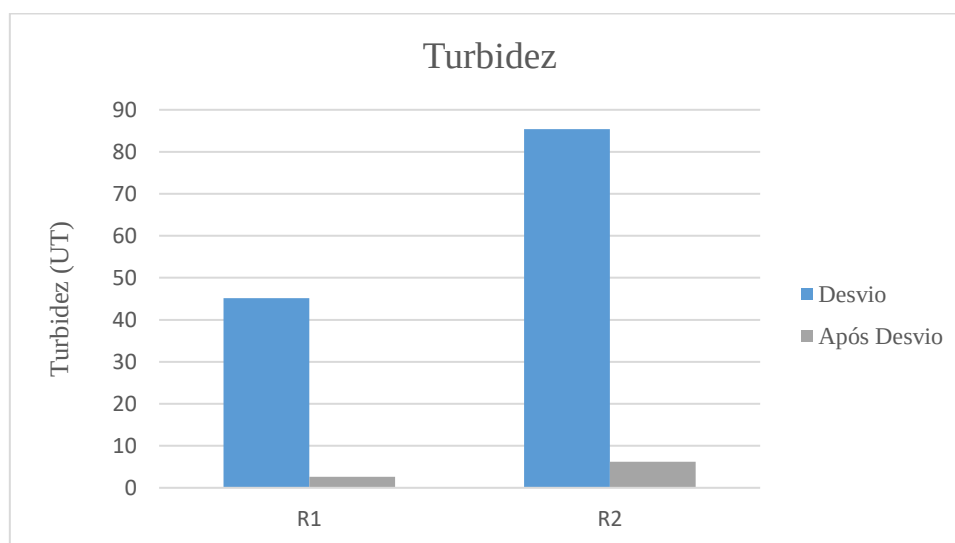
E)



Fonte: O autor (2017)

Os valores encontrados nesse estudo variaram, sendo o de máximo 85,37 UNT, no desvio do ponto R2 e mínimo de 2,64 UNT, no após desvio do ponto R1 (Figura 18).

Figura 18: Média de turbidez das águas de chuva armazenada na zona rural.

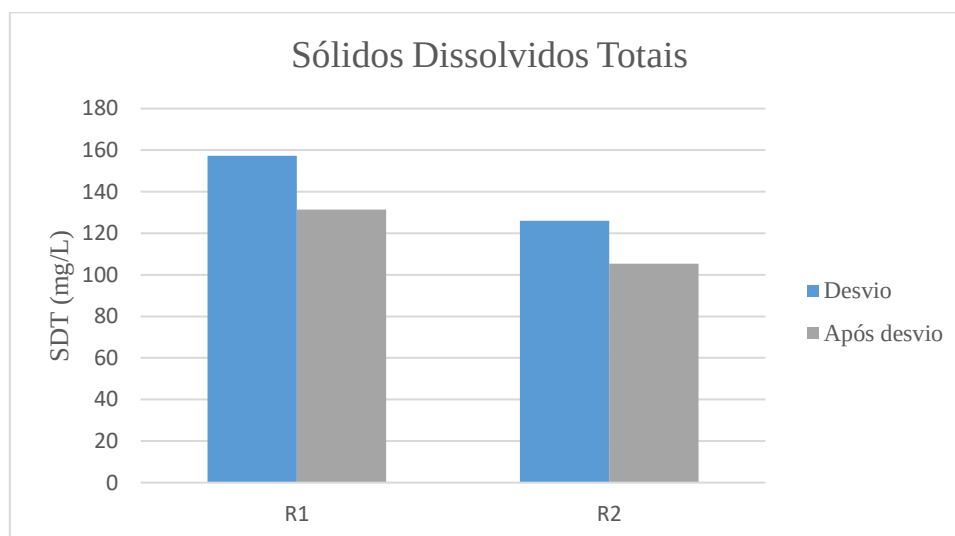


Fonte: O autor (2017)

Em relação a eficiência do DesviUFPE, ficou constatado que o mesmo atinge valores de remoção de turbidez da ordem de até 94,2% no ponto R1 e de 92,7% no ponto R2. Os valores elevados de turbidez estão associados aos sólidos acumulados no telhado, oriundo de fezes de animais e restos de plantas. Então, no início da precipitação toda a área de captação, telhado e calhas, foi lavada, carreando para a cisterna todo acúmulo dessa sujeira. Com isso, no ponto R2, em que houve o maior valor encontrado para a turbidez, verificou-se que com a instalação do desvio esse mesmo valor decaiu, ou seja, mesmo o valor sendo um pouco superior ao permitido pela portaria houve uma remoção alta. O fato de R2 apresentar valores altos no interior do desvio está associado ao fato da localização da residência estar situada em um local arborizado, o que pode ter causado a disparidade do valor em relação aos outros pontos.

No presente estudo, o índice de sólidos dissolvidos totais que atingiu valores maiores foi no ponto R2. A eficiência do DesviUFPE atingiu valores de cerca de 16,5% e 16,4% para os pontos R1 e R2, respectivamente. A figura 19 deixa evidente a variação dos resultados.

Figura 19: Média sólidos dissolvidos totais das águas de chuva armazenada na zona rural.



Fonte: O autor (2017)

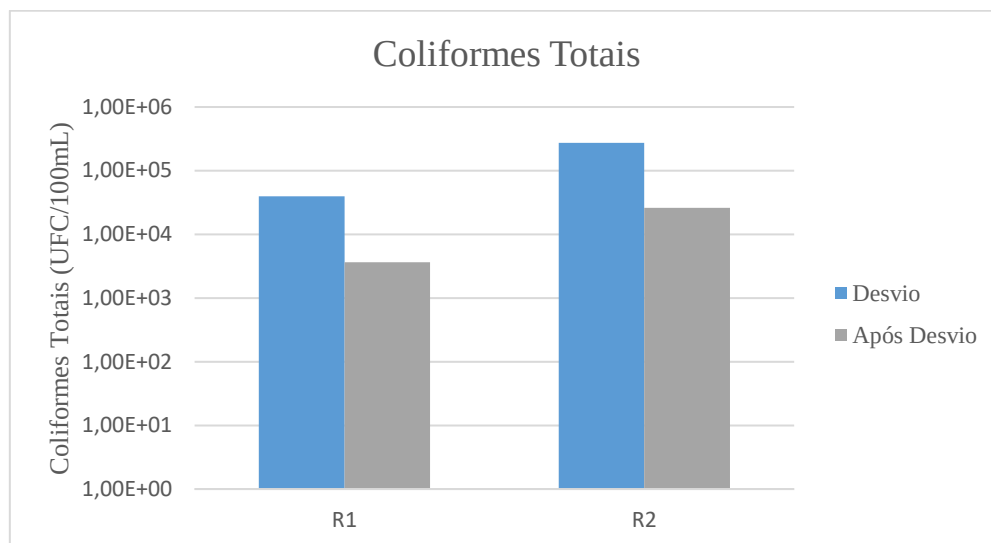
Como esperado, os resultados de sólidos dissolvidos totais acompanharam o comportamento do teor de turbidez, visto que os sólidos em suspensão são responsáveis pela turbidez que representa o grau de interferência com a passagem de luz através da água. Além disso, o material particulado pode ser utilizado como indicativo da provável presença de microrganismos. Segundo Figueiras (2013), durante o período de estiagem ocorre a deposição de sólidos em suspensão e de matéria orgânica, tanto de origem animal como vegetal, nas calhas e no telhado, contribuindo assim para o aumento dos valores de sólidos e turbidez, além da contaminação bacteriológica.

5.1.2 Resultados dos parâmetros Bacteriológicos

No presente estudo, todos os pontos mostraram a presença de coliformes e *E. coli*, apesar das amostras coletadas no ponto após desvio ter mostrado uma redução desses parâmetros quando comparado com o volume no desvio, ainda assim houve a presença de microrganismos patogênicos.

O índice de coliformes totais variou de $2,67 \times 10^3$ a $2,73 \times 10^5$ UFC/100mL (Figura 20). A eficiência de remoção nos pontos R1 e R2 atingiu valores de até 90% na remoção de coliformes.

Figura 20: Média de coliformes totais das águas de chuva armazenada na zona rural.

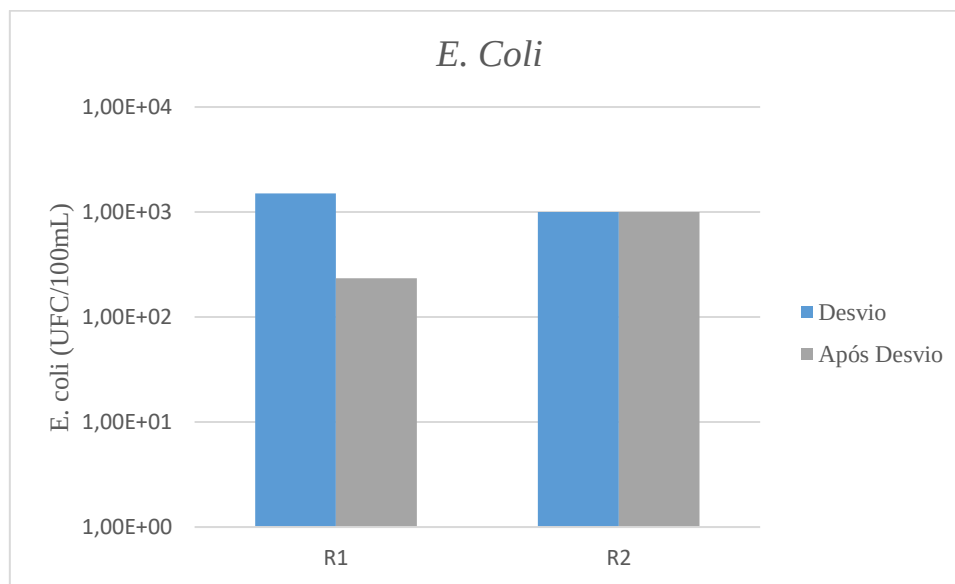


Fonte: O autor (2017)

O ponto R2 apresentou maior valor de coliformes no desvio, apesar desde ponto ter uma contaminação maior, houve uma redução significativa, em torno de 90%, quando usado o desvio das primeiras águas de chuva. Blackburn *et al.* (2003) afirmam em seu estudo que as fontes de contaminação das águas de cisternas com coliformes estão relacionadas a presença de animais sobre as estruturas de captação e dentro das cisternas. No ponto R2 valores maiores foram atingidos quando diz respeito a coliformes, visto que nas proximidades da residência há um grande número de árvores, favorecendo a presença de animais na superfície de captação, tais como gatos e pequenos roedores.

O índice de *E. coli* variou de $1,5 \times 10^3$ UFC/100mL até $2,33 \times 10^2$ UFC/100mL. O DesviUFPE, assim como o parâmetro de coliformes, mostrou-se eficiente em reduzir os teores de *E. coli*, cuja remoção atingiu valores de até 84% de remoção no ponto R1 (Figura 21).

Figura 21: Média de E. Coli das águas de chuva armazenada na zona rural.



Fonte: O autor (2017)

É válido comentar que o DesviUFPE já encontrava-se instalado no ponto R1 antes do presente estudo (há um período maior que três anos), o que não ocorre no ponto R2, já que o dispositivo só foi instalado durante a realização dos presentes testes (período menor do que um ano).

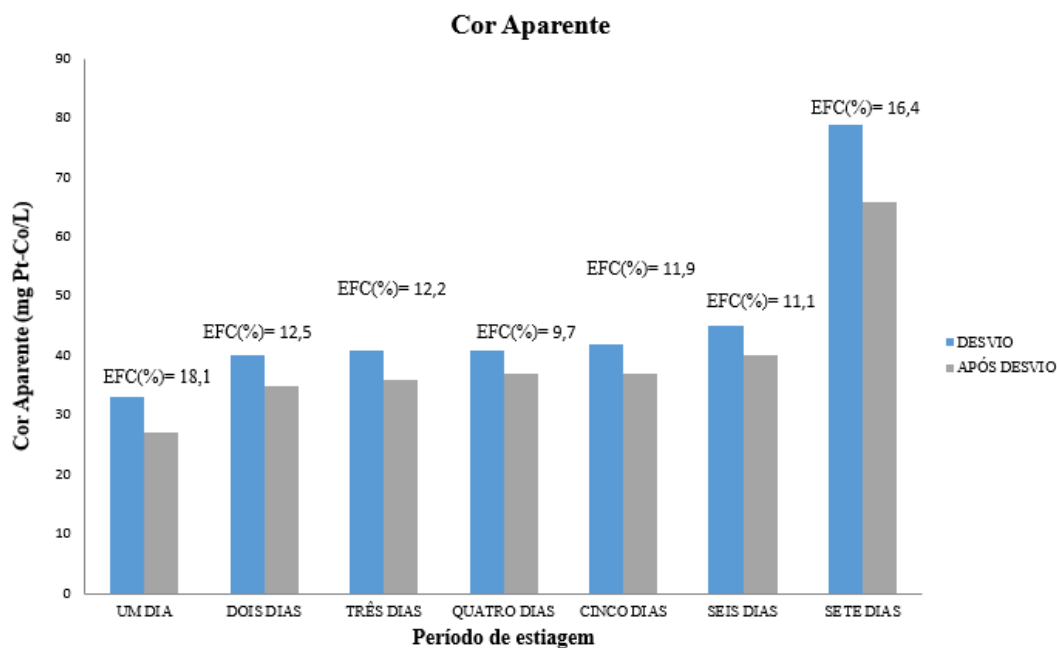
Logo, apesar de durante o período de estiagem as cisternas serem abastecidas com uma água de natureza desconhecida, considerada de pior qualidade, porém durante o período de chuva a água que passa pelo desvio tem sua qualidade melhorada. Sendo assim, mesmo que já tenha-se armazenada uma quantidade de água de pior qualidade durante o período de seca nas cisternas, quando ocorre a precipitação essa água que já se encontra armazenada tem sua qualidade melhorada devido a diluição com a água de chuva e uso do DesviUFPE, que tem uma qualidade melhor. Esse fato explica o comportamento do R1 na remoção de E. Coli, como essa cisterna já usava o desvio a bastante tempo a água de chuva que entra sempre é de melhor qualidade, o que não ocorre com R2, já que o uso do DesviUFPE foi feito exclusivamente para os presentes teste.

5.2 Determinação de quantos dias sem precipitação (VERANICO) são suficientes para a deterioração da qualidade da água aspergida

5.2.1 Cor Aparente

A Figura 22 apresenta a média dos valores encontrados para o parâmetro de cor aparente. A partir daí observa-se que a concentração de cor aparente aumentou à medida que se passaram os sete dias sem precipitação.

Figura 22: Média dos valores de Cor aparente

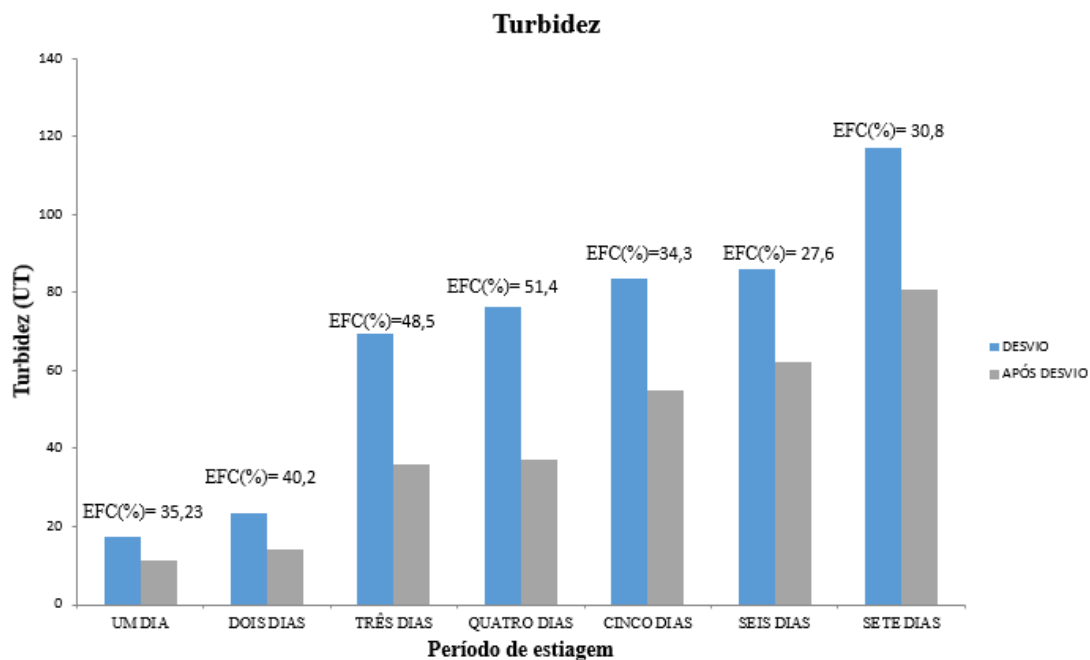


Fonte: O autor (2017)

Percebeu-se que a maior eficiência do DesviUFPE se deu com 24h sem precipitação, sendo, portanto, esse o prazo máximo que se deve ficar sem uso do dispositivo para retenção de cor aparente. Ou seja, tendo-se 24h sem ocorrência de chuvas, já se recomenda a utilização do desvio para melhoria da qualidade das próximas águas. Havendo precipitação por dias seguidos, sem pausas, o esvaziamento do desvio não é necessário.

5.2.2 Turbidez

A concentração de turbidez foi crescente com o passar dos sete dias sem precipitação, como mostra a Figura 23.

Figura 23: Média dos valores de Turbidez

Fonte: O autor

A maior eficiência do DesviUFPE para o parâmetro de turbidez se deu com três e quatro dias. Logo, passando-se dois dias sem ocorrência de chuvas, em que os poluentes atmosféricos apenas se depositam e não são lavados, recomenda-se que o DesviUFPE seja preparado para uso no próximo evento chuvoso que ocorra. O que confirma um estudo realizado por Egodawatta *et al.* (2009), no qual mostra que 80% do total das partículas são depositadas no telhado durante os sete primeiros dias sem chuva.

Do mesmo modo que, por sabermos que os sólidos causadores de turbidez podem servir de abrigo para patogênicos, indica-se que dois dias sem precipitação deverá ser o máximo de tempo que uma contaminação atmosférica se deposite em telhado. A partir desses dois dias o primeiro milímetro da chuva que por ventura precipite deverá ser direcionada para o DesviUFPE, a fim de aumentar a segurança sanitária da água direcionada à cisterna ou a outro tipo de reservatório.

Essa consideração em relação ao parâmetro de turbidez é em função do reconhecimento de sua importância enquanto indicador de padrão sanitário, e da eficiência do DesviUFPE em retê-lo, tal como, por se considerar que este parâmetro é de fácil remoção, mesmo que em ambiente doméstico.

É de relevância deixar claro que durante a realização dessa etapa do experimento o índice pluviométrico foi de 39,81mm/h, considerado um alto valor de precipitação para a região. Esse fator evidencia a eficiência de DesviUFPE ser menor nessa etapa quando comparada a etapa anterior (Monitoramento da qualidade de água armazenada em cisternas na zona rural de Caruaru), onde o índice pluviométrico era mais baixo, média acumulativa mensal durante os meses do experimento de 95,1 mm. Durante a presente etapa a eficiência na remoção de turbidez atingiu valor máximo igual a 51,4%, já na etapa anterior com um índice pluviométrico menor a eficiência atingiu valores de até 95%. Tal fato está ligado ao poder de carreamento da chuva que pode variar com a intensidade da precipitação. As chuvas mais intensas podem remover parte das impurezas presentes sobre as áreas de captação no primeiro milímetro, portanto em eventos de fraca intensidade do início ao fim, a água da chuva coletada dos telhados apresentou melhor qualidade em relação a eventos mais intensos, Hagemann (2009).

5.3 Análise da capacidade de retenção de sólidos flotantes no desviUFPE após modificação em sua estrutura

Os resultados dos parâmetros utilizados para avaliação da modificação do DesviUFPE são aqui apresentados e discutidos com base nos valores médios, conforme Tabela 7. Em seguida, serão discutidos apenas os resultados que apresentaram relevância no objetivo desse estudo, como o indicativo de turbidez e sólidos suspensos.

Tabela 7: Média e desvio-padrão dos parâmetros analisados na modificação do desviUFPE

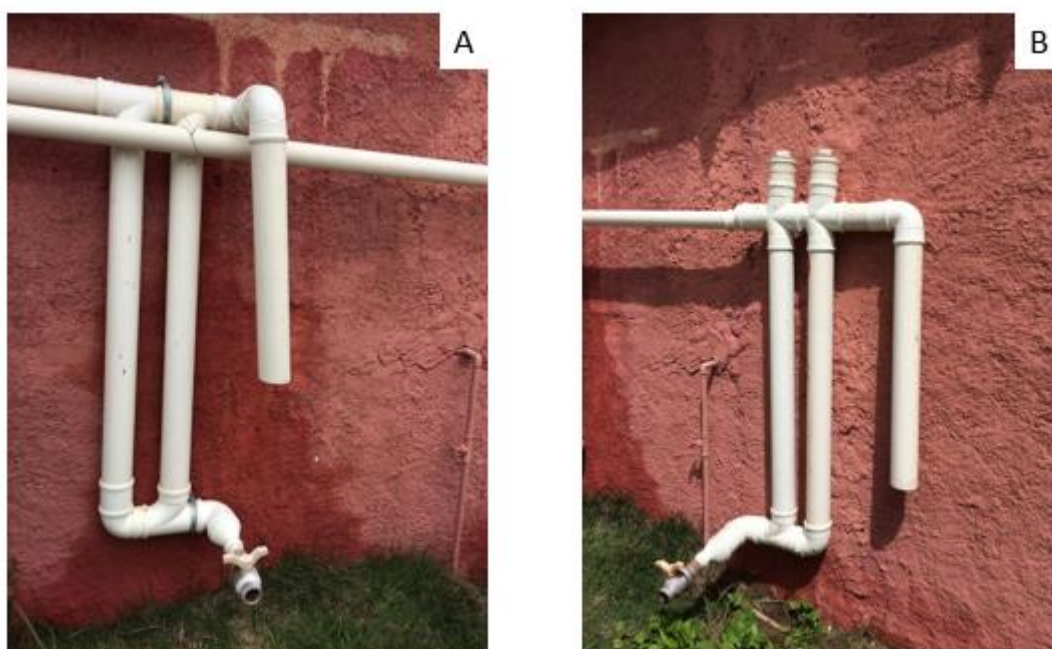
PARÂMETROS-MÉDIA					
	Unidade	D1		D2	
		Desvio	Após Desvio	Desvio	Após desvio
Condutividade	µS/cm	354,33	199,33	345,00	344,67
Turbidez	NTU	37,833	32,933	42,167	20,140
Sólidos Suspensos totais	mg/L	207,33	199,33	347,33	251,33
Sólidos Dissolvidos totais	mg/L	303,333	264,667	270,000	256,667
Cor Aparente	(mg/L Pt-Co)	21,667	13,333	28,000	11,000

Fonte: O autor (2017)

Os outros parâmetros avaliados foram a condutividade, sólidos dissolvidos totais e cor aparente. Essa parte do estudo tem como a principal análise a retenção de sólidos flotantes, por esse motivo não serão discutidos os parâmetros que tem como constituinte os sólidos dissolvidos, apesar desses parâmetros mostrarem eficiência quando comparado às duas estruturas dos desvios.

A respeito do teste com bolas de espuma de **poliestireno**, parte do isopor que foi jogado no interior do DesviUFPE modificado permaneceu no interior do mesmo, apenas dezesseis quadrados de sessenta foram evacuados pelo dispositivo. Confirmando assim que 73,3% do material usado como teste inicial ficou retido no DesviUFPE modificado. A Figura 24, mostra o DesviUFPE com sua estrutura original e após a modificação.

Figura 24: A-DesviUFPE na sua configuração original. B-DesviUFPE após mudança na sua configuração.



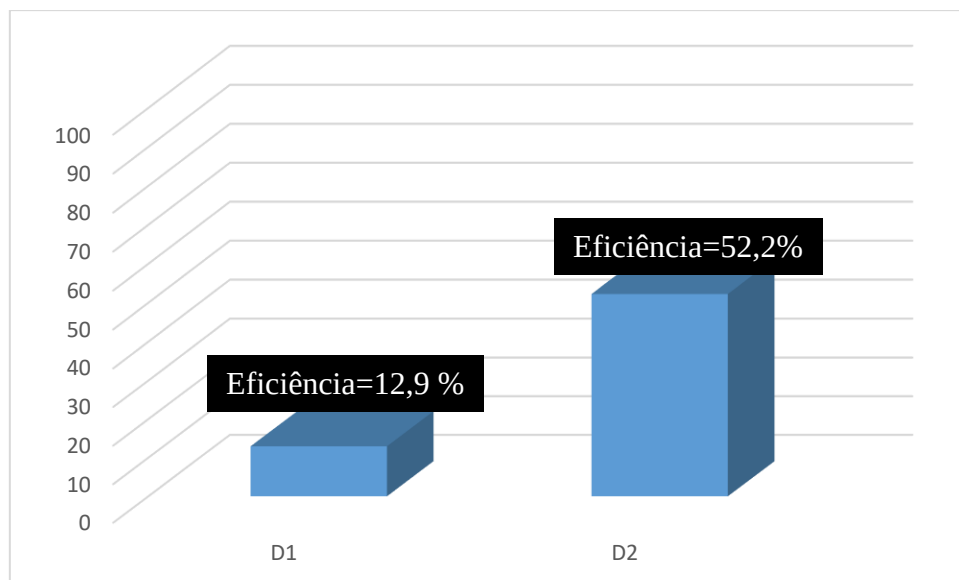
Fonte: O autor (2017)

5.3.1 Turbidez

Em relação ao parâmetro de turbidez, quando comparamos os dois dispositivos de desvio automático das primeiras águas de chuva, pode-se constatar uma eficiência maior quando há a modificação do desvio, conforme Figura 25. O desvio D1 (DesviUFPE mantendo sua estrutura original) apresentou eficiência média de remoção de turbidez de

12,9%, enquanto em D2 (desviUFPE com estrutura modificada) tal eficiência foi de 52,2%.

Figura 25: Eficiência da remoção de turbidez



Fonte: O autor (2017)

A turbidez é causada por partículas sólidas em suspensão, como argila e material orgânico (VON SPERLING, 2005). Devido a essa formação da turbidez era de se esperar que houvesse uma melhoria quando ocorresse a modificação do desvio, pois na nova configuração, seguindo o princípio de vasos comunicantes, o mesmo permite que na parte superior de sua estrutura fique redito o sobrenadante.

Nesse estudo, não foi comparado o índice de turbidez obtido com o limite estabelecido pela Portaria 2914-2011, do Ministério da Saúde, devido a contaminação ter sido feita de forma artificial e simulando condições extremas de contaminação.

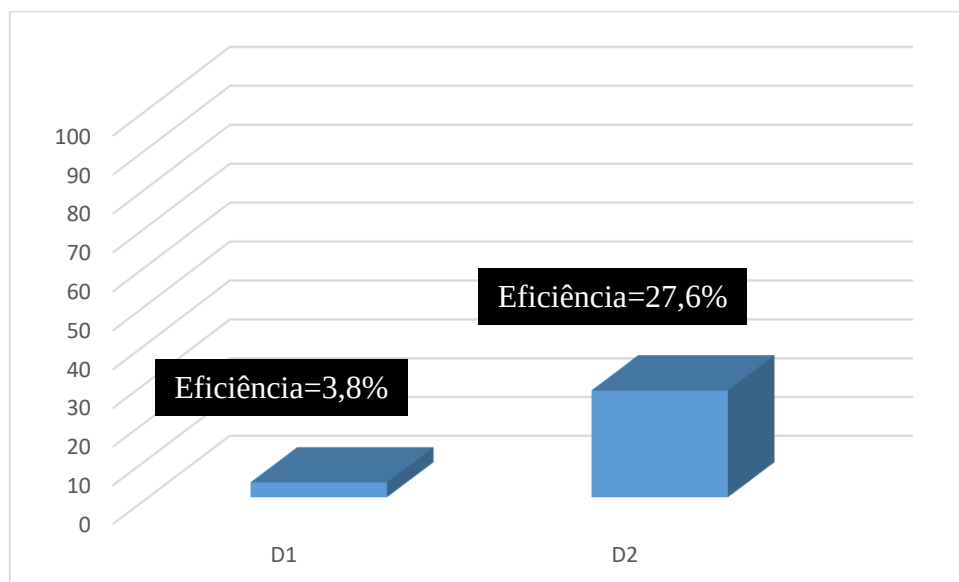
5.3.2 Sólidos suspensos Totais

A presença de sólidos em suspensão pode conferir uma maior probabilidade de ocorrência de patógenos na água, e esses são responsáveis pela turbidez.

No estudo, o parâmetro de sólidos teve pouca variação do desvio para o após desvio, tanto no ponto D1, como no ponto D2 (Figura 26). Porém, ocorreu uma eficiência maior no ponto D2 (DesviUFPE com sua estrutura modificada), chegando a uma média de

27,6% de remoção. Já o ponto D1 (DesviUFPE mantendo sua estrutura original), apresentou eficiência de 3,8% na remoção de sólidos suspensos.

Figura 26: Eficiência da remoção de sólidos suspensos Totais



Fonte: O autor

A melhoria do DesviUFPE é uma alternativa viável, além da eficiência na remoção de contaminantes, o custo para alteração é baixo e a modificação é bastante prática e fácil. Durante a mudança, houve a troca de singularidades na tubulação (os tês da parte superior, foram substituídos por cruzetas), esse custo varia em torno de dez reais adicionais na estrutura do novo dispositivo. Em relação a melhoria da qualidade da água armazenada, quando comparado as duas estruturas de desvios, houve uma eficiência na remoção, em especial de turbidez, de cerca de quatro vezes quando comparado o DesviUFPE modificado com o DesviUFPE original.

6 CONCLUSÕES

Os resultados encontrados no monitoramento das cisternas na zona rural mostraram que o DesviUFPE foi eficaz na retenção de impurezas, uma vez que houve redução de coliformes totais (90%), além de uma redução de turbidez (94%). Em relação aos parâmetros bacteriológicos foram observadas a presença de coliformes totais em 100% das amostras coletadas e de *E. coli* em 6,67% das amostras armazenadas em cisternas, sendo então recomendado a desinfecção para seu uso.

De acordo com os resultados obtidos, ficou evidente que o tempo de construção das cisternas, e principalmente a presença de um dispositivo de desvio dos primeiros milímetros de água de chuva, influenciam de forma considerável na qualidade da água. Além disso, foi possível relacionar diretamente parâmetros como alcalinidade total e condutividade com a idade da cisterna.

Devido a vários meses de estiagem as comunidades usam as cisternas para armazenar água de caminhão pipa, que na maioria das vezes tem procedência duvidosa. Todavia, quando ocorrem os períodos de precipitação a água que estava armazenada antes da chuva tem uma melhoria, em função de ser misturada com a água de chuva que é reconhecidamente de melhor que qualidade e que é ainda mais purificada após passagem pelo DesviUFPE. Devido aos resultados apresentados e discutidos na primeira etapa do presente estudo é notório que o DesviUFPE é essencial, sendo o uso de grande relevância para melhoramento da qualidade da água de chuva armazenada nas cisternas da zona rural.

Na segunda etapa do estudo, veranico, foi constatado que o tempo máximo sem precipitação, para que haja uma nova contaminação atmosférica depositada no telhado é de dois dias. Sabendo que os sólidos que causam a turbidez servem de abrigo para microrganismos patogênicos, as precipitações que ocorrerem a partir de dois dias de estiagem, devem ter os primeiros milímetros de tal chuva primeiramente desviados, aumentando assim a segurança sanitária da água armazenada. Nessa etapa do estudo fica claro que o tempo de estiagem, antes do evento chuvoso, tem relação direta com a qualidade de água que será armazenada.

A última etapa do trabalho mostra que a modificação feita no DesviUFPE para retenção de materiais flotantes torna-o mais eficiente na remoção de alguns contaminantes, principalmente os que possuem em sua composição os sólidos suspensos.

O DesviUFPE passou a atingir valores de eficiências de turbidez que antes eram de 12,9% para 52,2% após a sua modificação. Em relação ao parâmetro de sólidos suspensos totais o desvio com estrutura original atingia valores de 3,8% aumentando para 27,6% quando realizada a modificação. Tamanha eficiência deu-se devido a nova estrutura do desvio apresentar uma maior retenção de materiais flotantes, o que mostra que o DesviUFPE modificado tem realmente um melhor desempenho em relação ao DesviUFPE original.

7 RECOMENDAÇÕES

- Ampliar estudos sobre a nova configuração do DesviUFPE, aplicando um monitoramento em escala real e com contaminação natural na zona rural, visto que essa zona tem como maior contaminantes os sólidos suspensos. Avaliar a influência de tal modificação sobre a remoção de organismos patógenos.
- Fazer um novo estudo do veranico com um índice pluviométrico diferente, que tenha um valor aproximado com a intensidade pluviométrica local.

REFERÊNCIAS

ALVES F.; KÖCHLING T.; LUZ J.; SANTOS S.M.; GAVAZZA S. Water quality and microbial diversity in cisterns from semiarid areas in Brazil. **Journal of Water and Health**, Reino Unido, v.12, n.3, p.513-525, jun/nov, 2014. Disponível em: < <http://jwh.iwaponline.com/content/12/3/513>>. Acesso em:

AMOS C.C.; RAHMAN A.; GATHENYA J.M. Economic analysis and feasibility of rainwater harvesting systems in urban and peri-urban environments: a review of the global situation with a special focus on Australia and Kenya. **Water**, Suíça, v.8, n.4, p.1-21, mar/abr, 2016. Disponível em: < <http://www.mdpi.com/2073-4441/8/4/149>>. Acesso em:

ONOFRE DE ANDRADE NETO, C. Aproveitamento imediato da água de chuva. **Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais (GESTA)**, Brasil, v.1, n.1, p.73-86, mar, 2013. Disponível em: <<https://portalseer.ufba.br/index.php/gesta/article/view/7106>>. Acesso em:

_____. Segurança Sanitária das Águas de Cisternas Rurais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CAPTAÇÃO E MANEJO DE ÁGUA DE CHUVA, 4., 2003, Juazeiro. **Anais...** Juazeiro, 2003.

_____. Proteção Sanitária das Cisternas Rurais. In: Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 1º, 2004, Natal-RN. **Anais eletrônicos...** Natal-RN: ABES/APESP/APRH, 2004, 7 p.

ANA, AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (BRASIL). **Componente da Série de Relatórios sobre o Estado e Perspectivas do Meio Ambiente no Brasil**. GEO Brasil, recursos hídricos. Ministério do Meio Ambiente; Agência Nacional de Águas; Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente. Brasília, 2007.

_____. **Panorama da qualidade das águas superficiais do Brasil**. Agência Nacional de Águas. Brasília, 2012.

Aridic Soils of the United States and Israel. Disponível em: <https://cals.arizona.edu/OALS/soils/surveys/global.html>. Acesso em 08 jun. 2017.

BLACKBURN, D.M., RATAMAL, Y.P.B., LIMA, M., JALFIM, F., VIANA, A.A., FARIAS JÚNIOR, M. Avaliação da contaminação microbiológica de água para consumo doméstico na região de atuação da Diacônia no Semi-Árido Nordeste. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CAPTAÇÃO E MANEJO DE ÁGUA DE CHUVA, 4., 2003, Juazeiro. **Anais...** Juazeiro, 2003.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Entenda a importância das regiões hidrográficas no Brasil.** Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/meio-ambiente/2017/03/entenda-a-importancia-das-regioes-hidrograficas-do-brasil>> Acesso em 07 jun. 2017.

_____. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Recursos Hídricos. **Programa de ação de combate à Desertificação e mitigação dos efeitos da seca - PAN Brasil.** Brasília, 2004, p. 189-194.

BOULOMYTIS, V. T. G. Estudo da qualidade da água de chuva captada em telhado residencial na área urbana para fins de irrigação de alface. In: O SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CAPTAÇÃO E MANEJO DE ÁGUAS DE CHUVA, 6., 2007, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte, 2007.

CEPFS. Disponível em: <<http://cepfs.org/novo/>>. Acesso em 07 jun. 2017.

CIRILO, J. A. Public Water Resources Policy for the Semi-Arid Region. **Estudos avançados**, v.22, n.63. 2008a.

_____. Políticas públicas de recursos hídricos para o semiárido. **Estudos Avançados.** São Paulo, v.22, n.63, p. 61-82. 2008b.

COHIM E. H. B. S.; ORRICO S. R. M. A confiabilidade do volume das cisternas da zona rural para reservar água de chuva. **Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias**

Ambientais (GESTA), v.3, n.2, p. 91-99. 2015. Disponível em: <
<https://portalseer.ufba.br/index.php/gesta>>. Acesso em:

DUCHIADE, M. P. Poluição do ar e doenças respiratórias: uma revisão. **Cad. Saúde Pública**, v.8, n.3, p. 311-330. 1992. Disponível em: <
http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-311X1992000300010&lng=en&nrm=iso>. Acesso em:

EGODAWATTA, P.; THOMAS, E.; GOONETILLEKE, A. Understanding the physical processes of pollutant build-up and wash-off on roof surfaces. **Science of The Total Environment**, Maryland, v.407, n.6, p.1834–1841. 2009.

ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA. **Earth's water distribution**. Disponível em: <
<http://ga.water.usgs.gov/edu/waterdistribution.html>>. Acesso em 17 abr. 2017.

FENDRICH, R.; OLIYNIK, R. **Manual de utilização das águas pluviais: 100 maneiras práticas**. Curitiba-PR: Livraria do Chain, 2002.

FIGUEIRAS, M. L. **Avaliação da influência do descarte das primeiras águas de chuva sobre a qualidade bacteriológica da água captada em telhado**. Caruaru: UFPE, 2013. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso).

FUNDAÇÃO KONRAD ADENAUER; GESELLSCHAFT FÜR TECHNISCHE ZUSAMMENARBEIT – GTZ. **Tecnologias Apropriadas para Terras Secas. Manejo sustentável de recursos naturais em regiões semiáridas no Nordeste do Brasil**. Fortaleza, Ceará. 2006.

GNADLINGER, J. Impressões e lições da Oficina Internacional de Captação e Manejo de Água de Chuva. In: OFICINA INTERNACIONAL DE CAPTAÇÃO E MANEJO DE ÁGUA DE CHUVA, 2004, Landzou. **Anais...** Landzou: Associação Brasileira de captação e manejo de Água de Chuva, 2004.

_____. **Rainwater Catchment and Sustainable Development in the Brazilian Semi-Arid Tropics**. Cidade do México, p.25-29, 2003.

GOHARI A., ESLAMIAN S., MIRCHI A., ABEDI-KOUPAEI J., BAVANI A.M., MADANI K. Water transfer as a solution to water shortage: a fix that can backfire. **Journal of Hydrology**, v.491, p. 23–39. 2013.

HUANG G.; CHENG T.; ZHANG R.; TAO J.; LENG C.; ZHANG Y.; ZHA S.; ZHANG D.; LI X.; XU C. Optical properties and chemical composition of PM_{2.5} in Shanghai in the spring of 2012. **Particuology**, V.13, pp 52–59. 2014.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (Brasil). Disponível em: <http://geoftp.ibge.gov.br>. Acesso em 03 ago. 2016.

JAIQUES, R.C. **Qualidade da Água de Chuva no Município de Florianópolis e sua Potencialidade para aproveitamento em edificações**. Florianópolis: UFSC, 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental).

KAMPA M., CASTANAS E. Human health effects of air pollution. **Environmental Pollution**, v.151. 2008.

LEAL T. F. M.; FONTENELE A. P. G.; PEDROTTI J. J. Composição Iônica Majoritária de Águas de Chuva no Centro da Cidade de São Paulo. **Química Nova**, São Paulo, v.27, n.6, p.855-861. 2004.

LEE K. E.; MOKHTAR M.; HANAFIAH M. M.; HALIM A. A.; BADUSAH J. Rainwater harvesting as an alternative water resource in Malaysia: potential, policies and development. **Journal of Cleaner Production**. 2016.

LIOU N.; POUPKOU A.; GIANNAROS T. M.; KAKOSIMOS K.E.; STEIN O.; MELAS D. Impacts of natural emission sources on particle pollution levels in Europe. **Atmospheric Environment**, v.137, p.171-185. 2016.

MALHEIROS, T. F.; PHILIPPI JR, A. Saneamento e saúde pública: integrando homem e ambiente. In: MALHEIROS, T. F.; PHILIPPI JR, A (Orgs). **Saneamento, Saúde e Ambiente: Fundamentos para um desenvolvimento sustentável**. Ed. Manole, 2005.

MARCYNUK P.B.; FLINT J. A.; SARGEANT J. M.; JONES-BITTON A.; BRITO A. M.; LUNA C.F.; SZILASSY E.; THOMAS M K.; LAPA T. M.; PEREZ E.; COSTA A. M. Comparison of the burden of diarrhoeal illness among individuals with and without household cisterns in northeast Brazil. **BMC Infectious Diseases**. 2013.

MAY, S. **Estudo da Viabilidade do Aproveitamento de Água de Chuva para Consumo Não Potável em Edificações**. São Paulo: USP, 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Construção Civil).

MARTINSON, D. B.; THOMAS, T. **Improving water quality by design**. Cidade do México: IRCSA, 2003.

MENEZES, H.E.A.; BRITO, J.I.B.; SANTOS, C.A.C.; SILVA, L.L. A Relação entre a Temperatura da Superfície dos Oceanos Tropicais e a duração dos veranicos no Estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.23, n.2, p.152-161. 2008.

PALHARES, J. C. P. **Captação de água de chuva e armazenamento em cisterna para uso na produção animal**. São Carlos, SP: Embrapa Pecuária Sudeste, 2016.

PALHARES, J. C. P.; GUIDONI, A. L. Qualidade da água de chuva armazenada em cisterna utilizada na dessedentação de suínos e bovinos de corte. **Ambi-Agua**, Taubaté, v.7, n.1, p.244-254. 2012.

SILVA, F.A.S.E.; RAO, T.V.R. Regimes pluviais, estação chuvosa e probabilidade de ocorrência de veranicos no Estado do Ceará. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.6, n.3, p.440-446, 2002.

SILVA, R. M. A. **Entre o combate à seca e a convivência com o Semi-Árido: transições paradigmáticas e sustentabilidade do desenvolvimento**. Brasília: Centro de Desenvolvimento Sustentado, 2006. Tese de Doutorado.

SILVA, S. T. B.; ARAÚJO, L. F.; ALMEIDA, A. J. G. A. GAVAZZA, S.; SANTOS, S. M. Comportamento de dispositivos de desvio das primeiras águas de chuva como

barreiras sanitárias para proteção de cisternas. **Águas Subterrâneas**, v.31, n.2, p.1-11. 2017.

SILVEIRA, V.P; MENEZES, D.C; COSTA, R.S. Estudo Climatológico de Casos de Veranicos para as Cidades de São Miguel dos Campos e Penedo no Estado de Alagoas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 2004, Florianópolis. **Anais...**, Santa Maria, 2004. p.971.

SOARES, D. B.; NÓBREGA, R. S. Análise espacial e climatológica da ocorrência de veranicos no sertão de Pernambuco. **Revista de Geografia**, Recife, v.27, n.1. 2010.

SOUZA, S. H. B.; MONTENEGRO, S. M. G. L; SANTOS, S. M.; GAVAZZA, S.; NÓBREGA, R. L. B. Avaliação da Qualidade da Água e da Eficácia de Barreiras Sanitárias em Sistemas para Aproveitamento de Águas de Chuva. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.16, n.3, p.81–93. 2011.

TOMAZ, P. **Aproveitamento de água de chuva para áreas urbanas e fins não potáveis**. São Paulo: Navegar Editora, 2011.

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

ZHANG Z.; BATTERMAN S. Near-road air pollutant concentrations of CO and PM_{2.5}: a comparison of MOBILE 6.2/CALINE4 and generalized additive models. **Atmospheric Environment**, v.44, n.14. 2010.

ZHAO X.; WANG X.; DING X.; HE Q.; ZHANG Z.; LIUT.; FU X.; GAO B.; WANG Y.; ZHANG Y.; DENG X.; WUD. Compositions and sources of organic acids in fine particles (PM_{2.5}) over the Pearl River Delta region, south China. **Journal of Environmental Science**, Guangzhou, v.26, n.1. 2014.