



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA NATUREZA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO



LEONARDO VINÍCIUS QUEIROZ DE PAIVA

**POTENCIAL DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA DA CHUVA EM ÁREAS URBANAS
DO SEMIÁRIDO**

JOÃO PESSOA - PB

2020

LEONARDO VINÍCIUS QUEIROZ DE PAIVA

**POTENCIAL DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA DA CHUVA EM ÁREAS URBANAS DO
SEMIÁRIDO**

Dissertação de Mestrado apresentada ao
Programa de Desenvolvimento e Meio
Ambiente da Universidade Federal da
Paraíba, para obtenção do título de
Mestre.

Orientador: DR. BARTOLOMEU ISRAEL
DE SOUZA

Co-orientador: DR. HAMILCAR JOSÉ
ALMEIDA FILGUEIRA

JOÃO PESSOA - PB

2020

X000x Sobrenome, Nome do 1º autor. (citado na folha de rosto)
Título principal: subtítulo./Nome completo do 1º
autor,
Nome completo do 2º autor, Nome completo do 3º autor;
orientação [de]. – Local: ano.
Nº de folhas.: il.(se houver ilustração);

A FICHA CATALOGRAFICA DEVE SER FORNECIDA PELA
BIBLIOTECA DA UFPB QUANDO A VERSÃO FINAL DA
DISSERTAÇÃO ESTIVER PRONTA

LEONARDO VINÍCIUS QUEIROZ DE PAIVA

**POTENCIAL DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA DA CHUVA EM ÁREAS URBANAS
DO SEMIÁRIDO**

Dissertação apresentada ao Programa Regional de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente – PRODEMA – da Universidade Federal da Paraíba, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Mestre em Desenvolvimento e Meio Ambiente.

Trabalho Aprovado. João Pessoa, __ de _____ de 201__.

BANCA EXAMINADORA

Professor Dr. Bartolomeu Israel de Souza
Departamento de Geociências do CCEN/UFPB

Professor Dr. Eduardo Rodrigues Viana de Lima
Departamento de Geociências do CCEN/UFPB

Professor Dr. Tarcisio Cabral da Silva
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

Dedico essa dissertação ao meu avô, Ronaldo Vinícius de Paiva, que em vida foi o maior incentivador dos meus estudos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço as entidades superiores e a mãe terra pela experiência como ser humano na nossa atual morada que é o nosso planeta.

Agradeço a toda minha família e a meus ancestrais por garantirem a minha existência. A minha mãe, Fátima Queiroz, que é a quem mais tenho que agradecer nessa vida, por ter sempre se sacrificado para que eu alcançasse meus objetivos e feito de tudo para me dar a melhor criação do mundo, além de ser um exemplo de ser humano, de mulher, de guerreira, de amor incondicional aos filhos, a ela devo tudo que sou e a amarei eternamente. Ao meu pai, Ronaldo Vinícius, por todo o amor, apoio, por querer sempre o meu melhor, pelos conselhos e pelos tantos momentos de comunhão e descontração. Aos meus avós, por todo apoio na minha educação e criação, pois sem eles eu não seria quem sou: meu avô Ronaldo Paiva, a pessoa que eu mais admirei na vida e que vou lembrar com todo o amor do mundo até meus últimos dias e minha avó Christina Brazil, a pessoa mais doce e caridosa que já conheci na vida, exemplo de humanidade, de compaixão, e do que todo e qualquer ser humano deveria tentar ser. Ao meu avô, Adolfo Queiroz, que em vida foi um porto seguro para mim e minha mãe e também será sempre lembrado e amado por nós. Ao meu irmão, Luciano Vinícius, meu maior companheiro e confidente, que está junto comigo nos melhores e piores momentos. A meu irmão, Adolfo Queiroz, meu herói de infância, e que apesar da distância geográfica, está sempre tão presente. Aos meus primos João Pedro e Felipe pela admiração mútua, apoio, confiança e pelas tantas experiências vividas que nos fizeram crescer tanto nos últimos anos. A minha tia Ane, por nos presentear com a beleza de sua essência ao vir para perto de nós.

Meu agradecimento mais que especial à minha esposa Mayanna Albuquerque, por ter me ensinado o verdadeiro significado do que é amor e do que é família, e por ter me dado o presente mais lindo que eu poderia ganhar nessa vida, a nossa anjinha Olívia Louise.

Ao PRODEMA e a todos os professores que fazem parte desse programa, assim como, a todos os amigos que fiz no decorrer do mestrado: à aluna Luanny Dantas, por ter me alertado da minha aprovação na seleção,

caso contrario teria perdido a inscrição e ao aluno Rodrigo Batista, pela parceria no decorrer de todo esse processo. Agradeço em especial ao meu orientador, professor Bartolomeu, que me acompanha desde o meu TCC, e por quem adquiri profunda admiração, pela pessoa e pelo profissional, desde a minha graduação. Ao meu coorientador, professor Hamilcar, que foi crucial para o enriquecimento da minha pesquisa.

Aos meus amigos que são verdadeiros irmãos e mestres, com quem compartilho uma trajetória de intenso desenvolvimento pessoal e espiritual. São eles: Janailson José, Gustavo Saraiva, Daniela Georgia, Jackson Lacerda e Diego C-zar.

A CAPES pelo auxílio financeiro que tornou possível a realização dessa pesquisa.

Por fim, agradeço a todos que passaram por minha vida e foram sem exceção, indispensáveis para a minha caminhada.

“A simplicidade é o ultimo grau da sofisticação.”

Leonard Thiessen

RESUMO

O semiárido brasileiro é acometido por condições climáticas extremas, em que o baixo índice e a irregularidade das chuvas são fatores que intervêm negativamente no desenvolvimento da região. Encontra-se na captação de água das chuvas uma alternativa importante para a região, na qual se pode aumentar o volume de água disponível mediante o aproveitamento do regime pluvial. O objetivo principal desse trabalho foi estimar os Volumes Potenciais de Captação de Água da Chuva (VPC) para a área urbana do município de São João do Cariri. Estes volumes foram estimados com base na proposta de utilização das superfícies impermeáveis da cidade como áreas de captação de água das chuvas, para fins não potáveis. A estimativa é de suma importância para o dimensionamento adequado de cisternas, de modo a garantir o suprimento das demandas não potáveis de água da cidade, durante o período de estiagem. Analisando isoladamente a demanda de água para as escolas e creches da cidade, concluímos que toda a necessidade desse recurso, para fins não potáveis, pode ser suprida através do reuso de água pluvial. Por fim, foi realizado o estudo dos processos superficiais relativos ao escoamento e acúmulo da água da chuva e feita a proposta de locais de armazenamento desse recurso. A identificação desses locais, somada a aplicação de métodos adequados de armazenamento, podem amenizar os impactos da escassez de água, contribuindo para a convivência com o clima.

Palavras-chave: Volume de água; Regime pluvial; Cisternas.

ABSTRACT

The Brazilian semi-arid is affected by extreme climatic conditions, in which the low index and the irregularity of the rains are factors that interfere negatively in the development of the region. We found in rainwater collection systems, an important alternative for the region, in which the available water volume can be increased, through the use of the rain regime. The main objective of this work will be to estimate the Potential Volumes of Rainwater Capture (VPC) for the urban area of the municipality of São João do Cariri. These volumes will be estimated based on the proposed use of the city's impermeable surfaces as rainwater catchment areas for non-potable purposes. Such an estimation is important for the adequate dimensioning of cisterns, in order to guarantee the supply of the non-potable water demands of the population during the dry season. Analyzing the demand for water for schools and daycare centers in the city, we conclude that all the need for this resource, for non-potable purposes, can be met through the reuse of rainwater. Finally, the study of surface processes related to runoff and accumulation of rainwater was carried out and the proposal for storage places for this resource was made. The identification of these locations, in addition to the application of adequate storage methods, can mitigate the impacts of water scarcity, contributing to living with the climate.

Key-words: Volume of water; Rainfall regime; Cisterns.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Delimitação do semiárido brasileiro.....	19
Figura 2 - Abandar, cisterna tradicional do Irã.....	27
Figura 3 - Chultun, cisterna tradicional do povo Maia.....	28
Figura 4 - Baray, reservatório do povo Kmer.....	28
Figura 5 - Cisterna da Basílica de Constantinopla.....	29
Figura 6 - Seção de cisterna filtrante veneziana.....	30
Figura 7 - Cisterna cilíndrica de placas pré-moldadas.....	32
Figura 8 - Vista de uma cisterna modelo calçada.....	33
Figura 9 - Vista de uma cisterna modelo enxurrada	34
Figura 10 - Esquema do funcionamento da barragem subterrânea	35
Figura 11 - Vista de um tanque de pedra	35
Figura 12 - Mapa de localização da área urbana de São João do Cariri – PB	48
Figura 13 - Localização da rede de drenagem do Rio Taperoá próxima a cidade de São João do Cariri	49
Figura 14 - Determinação da direção do fluxo do canal de drenagem pelo método D8.....	55
Figura 15 - Áreas de captação de água da chuva em São João do Cariri	59
Figura 16 - Áreas de captação de água da chuva em São João do Cariri	60
Figura 17 - Redes de drenagem obtidas a partir dos limiares de drenagem de (a) 9.000 pixels e (b) 2.500 pixels	67
Figura 18 - Mancha de inundação do modelo HAND, utilizando o limiar de drenagem de 9.000 pixels	68
Figura 19 - Mancha de inundação do modelo HAND, utilizando o limiar de drenagem de 2.500 pixels	70
Figura 20 - Mapa hipsométrico da área urbana de São João do Cariri	72
Figura 21 - Pontos potenciais para armazenamento de água das chuvas	73

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Precipitação acumulada anual do município de São João do Cariri – PB no período de 1999 a 2019.....	50
Gráfico 2 - Média, mediana e desvio padrão dsas séries pluviométricas mensais do município de São João do Cariri	57
Gráfico 3 - Volume potencial de captação de água de chuva (VPC) para as diferentes áreas de captação e quatro cenários de ocorrência de chuva	59
Gráfico 4 - Volume potencial de captação de água de chuva (VPC) para diferentes polígonos de captação e quatro cenários de ocorrência de chuva ..	61
Gráfico 5 - Relação entre o volume de água necessário (VNEC) e a área de captação necessária (ACN), para o consumo de 25 L/(aluno.dia)	63
Gráfico 6 - Relação entre o volume de água necessário (VNEC) e a área de captação necessária (ACN), para o consumo de 50 L/(aluno.dia)	64
Gráfico 7 - Relação entre o volume de água necessário (VNEC) e a área de captação necessária (ACN), para o consumo de 110 L/(aluno.dia)	64
Gráfico 8 - Relação entre o volume de água necessário (VNEC) e a área de captação necessária (ACN), para o consumo de 200 L/(aluno.dia)	65
Gráfico 9 - Principais fontes de água usadas nos domicílios de São João do Cariri, PB.....	66

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Fontes de contaminação em áreas urbanas e seus poluentes associados	43
Quadro 2 - Parâmetros de qualidade de água de chuva para usos restritivos não potáveis	46
Quadro 3 - Valores médios dos coeficientes de runoff	51
Quadro 4 - Valores de coeficiente de runoff para diferentes áreas	51
Quadro 5 - Estimativa de consumo diário de água	53
Quadro 6 - Relação das escolas públicas e creches do município de São João do Cariri	62

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Fases do desenvolvimento das águas urbanas..... 39

Tabela 2 - Padrões de qualidade de água para reuso nos Estados Unidos 47

LISTA DE ABREVIações E SIGLAS

ASA - Articulação no Semi-Árido Brasileiro

ACN - área de captação necessária

CODEVASF - Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba

CONVIVER - Programa de Desenvolvimento Integrado e Sustentável do Semiárido

COP 3 - Terceira Sessão da Conferência das Partes das Nações Unidas da Convenção de Combate à Desertificação

D8 - *Deterministic Eight-Neighbors*

DNOCS - Departamento Nacional de Obras Contra as Secas

HAND - *Height Above the Nearest Drainage*

IFOCS - Inspetoria Federal de Obras Contra as Secas

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

IOCS - Inspetoria de Obras Contra as Secas

LDD - *Local Drain Directions*

MDE – Modelo Digital de Elevação

Openo - Operação Nordeste

P1MC - Programa Um Milhão de Cisternas Rurais

P1+2 - Programa Uma Terra Duas Águas

PAN-BRASIL - Programa de Ação Nacional de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca

PROMESSO- Programa de Promoção da Sustentabilidade de Espaços Sub-Regionais

SUDENE – Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste

VNEC - volume de água necessária

VPC - Volume Potencial de Captação de Água da Chuva

Sumário

1 INTRODUÇÃO.....	17
1.1 Objetivos	18
1.1.1 Objetivo geral.....	18
1.1.2 Objetivos específicos.....	18
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	19
2.1 O semiárido brasileiro e a escassez de água	19
2.2 Políticas públicas de combate à seca	23
2.3 Captação de água e convivência com a seca	26
2.4 Gestão da água em ambientes urbanos	36
2.5 Qualidade da água pluvial.....	41
3 MATERIAL E MÉTODOS	48
3.1 Descrição da área estudada	48
3.2 Estimativa dos volumes potenciais de captação	50
3.3 Aplicação do Modelo HAND.....	54
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	57
4.1 Regime Pluvial de São João do Cariri.....	57
4.2 Volume Potencial de Captação de Água de Chuva para São João do Cariri	58
4.3 Áreas e volumes necessários de captação de água das chuvas para São João do Cariri.....	61
4.4 Modelo HAND	66
4.5 Proposta de locais para armazenamento de água das chuvas.....	71
5 CONCLUSÃO.....	74

1 INTRODUÇÃO

A escassez de água gera um problema socioambiental que é enfrentado em diversas partes do planeta e pode chegar a instaurar situações verdadeiramente alarmantes em determinados locais. A água é essencial à vida, e a sua falta ou má distribuição espacial e temporal em regiões como o semiárido brasileiro, acaba por acarretar adversidades extremas, em especial, a insegurança alimentar. Mesmo que essa questão seja enfrentada desde as civilizações mais antigas, além de largamente discutida na atualidade, ainda é um problema que faz parte da realidade de milhões de pessoas, muitas vezes agravado por políticas públicas inadequadas, interesses da elite regional, além do próprio momento climático que se vivencia.

A chuva no semiárido brasileiro é marcada por uma acentuada variabilidade espaço-temporal, em que a precipitação é notoriamente irregular tanto em relação à quantidade quanto à distribuição. Um regime pluvial marcado por essa condição limitante acaba por gerar insegurança hídrica e por consequência impedir a expansão da agropecuária familiar, elevar os índices de desigualdades sociais e dificultar a sobrevivência do homem no campo como um todo (FARIAS, 2015).

Apesar do quadro de baixos índices pluviométricos, associado à irregularidade do regime de chuvas, é visível o potencial de aproveitamento de água de chuvas no semiárido brasileiro. Esse aproveitamento pode ser alcançado de forma satisfatória através de tecnologias sociais simples, com destaque para as de armazenamento e captação de água da chuva. Gnadlinger (2001) considera que a adoção dessas técnicas representa o surgimento de um novo paradigma, em que o desenvolvimento regional tem como foco a população local, além de estar em concordância com o princípio do desenvolvimento sustentável.

A coleta de água das chuvas é comumente realizada há séculos, tanto em áreas urbanas quanto rurais, onde essa prática antiga tinha como principal finalidade o uso doméstico e em menor escala, o uso agrícola. Nas cidades modernas a utilização dessas águas tem crescido gradativamente, sendo considerado de grande auxílio na solução dos desafios relativos ao

fornecimento de água para a população. Além disso, é crescente a preocupação com a necessidade de uma gestão do sistema hidrológico, já que é sabido da interferência negativa que a maioria dos ambientes urbanos gera no ciclo hidrológico (BUHAUG & URDAL, 2013).

Com isso, o presente trabalho teve como intuito propor a utilização das superfícies impermeáveis da área urbana do município de São João do Cariri – PB/Brasil (praças, calçamentos, ruas), como um meio de captação das águas das chuvas. O recurso que escoar superficialmente pelas ruas e canaletas, em determinados pontos poderia ser direcionado e armazenado para posterior uso. Sendo assim, foi realizada a análise do regime pluviométrico do local, como também, a estimativa dos volumes potenciais de captação de água da chuva e dos volumes de água necessárias para demandas não potáveis de escolas e creches da cidade. Ao final, por meio do modelo descritor do terreno *Height Above the Nearest Drainage (HAND)*, foi feita a proposta de pontos potenciais para armazenamento da água das chuvas.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Estimar os volumes potenciais de captação de água de chuva para o perímetro urbano de São João do Cariri, utilizando áreas impermeáveis da cidade como meio de captação.

1.1.2 Objetivos específicos

- Conhecer o regime pluvial através da análise da série histórica de chuvas do município.
- Calcular os volumes de água e as áreas de captação necessárias para abastecimento de escolas e creches da cidade.
- Utilizar o modelo HAND para estudar processos superficiais relativos ao movimento, acúmulo e drenagem da água, podendo assim propor pontos ideais de armazenamento desse recurso.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 O semiárido brasileiro e a escassez de água

Segundo dados do IBGE (2017), o semiárido brasileiro (Figura 1) dispõe de uma extensão de 982.563,3 km² e engloba parte do território da Paraíba, Rio Grande do Norte, Ceará, Pernambuco, Piauí, Alagoas, Sergipe, Bahia e Minas Gerais. Isso configura 11,39% do território nacional, 62% do território nordestino, além de abrigar 29% da população do país - distribuída em 1.133 municípios (BRASIL, 2005).

Figura 1 – Delimitação do semiárido brasileiro



Fonte: Base cartográfica - IBGE, 2017

O Programa de Ação Nacional de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca PAN-Brasil (BRASIL, 2004), no tocante às regiões semiáridas como um todo, menciona que:

Numa perspectiva geral, as áreas semiáridas são caracterizadas pelo desequilíbrio entre oferta e demanda de recursos naturais, vis-à-vis as necessidades básicas das populações que nelas habitam. De forma específica, essas porções territoriais apresentam feições variadas, pois são submetidas a condições particulares de clima, solo, vegetação, relações sociais de produção e, em consequência, a distintos modos de vida. As variações na paisagem podem ser mais ou menos acentuadas. Nessas áreas, há momentos em que chove mais ou menos; em que o solo é fértil, já se degradou ou se encontra submetido a intensos processos de desnudamento; em que a vegetação passa a ser mais rala e menos vigorosa; e a escassez ou falta de alimentos básicos passa a constituir ocorrência frequente (BRASIL, 2004, p. 31).

De acordo com a Portaria do Ministério da Integração Nacional do dia 10 de março de 2005, estão inclusas no semiárido brasileiro as localidades que obedecem ao menos a um dos três critérios:

- Índice pluviométrico médio inferior a 800 milímetros por ano;
- Índice de aridez de até 0,5 (alcançado através da relação entre as precipitações e a evapotranspiração potencial, com base no período entre 1961 e 1990);
- Possibilidade de ocorrência de seca superior a 60%, com base no período entre 1970 e 1990.

O semiárido brasileiro é considerado o mais chuvoso do planeta, tendo pluviosidade média de 750 mm/ano (variando de 250 a 800 mm/ano nos municípios da região). Além disso, é o mais populoso e tido como o semiárido com condições de sobrevivência mais precárias (MALVEZZI, 2007).

Apesar de ser o mais chuvoso, seu subsolo é formado em grande parte por rochas cristalinas, originando solos predominantemente rasos, dificultando a formação de mananciais permanentes, além de a água tender a ter altos teores de sais. Além disso, é característica marcante do semiárido brasileiro, a variabilidade espaço-temporal da precipitação pluviométrica, associada a baixos valores de chuvas anuais, sendo comum a ocorrência de grande quantidade de dias consecutivos sem chuva (CORREIA, 2011).

O semiárido brasileiro sempre sofreu com a ocorrência de secas rigorosas, entretanto, também é marcado por episódios de grandes enchentes.

Correia (2011) relata que ocorrem entre 18 e 20 anos de seca para cada 100 anos, contudo houve um aumento da frequência destas a partir do século XX. Eventos dessa magnitude têm impacto direto na produção de alimento, sendo um fator limitante para o êxito da atividade agropecuária da região.

Com relação às enchentes, estas estão ligadas a eventos de chuvas extremas que ocorrem no semiárido graças ao transporte de umidade que advém da bacia Amazônica e do Atlântico tropical, chegando ao Nordeste. Entre os anos mais chuvosos, destacam-se: 1985, com episódios de chuvas maiores que 60 mm/h; 2004, que atingiu 1000 mm de chuva, apenas no mês de janeiro, e 2009, em que os impactos das enchentes culminaram em 48 mortes distribuídas por seis estados (MARENGO, 2006, 2011).

As secas são períodos prolongados de escassez de água, por consequência de baixa pluviosidade. Considerada o risco natural que mais afeta a população - e que é menos compreendida-, ela abrange grandes extensões e causa consequências maléficas significativas às atividades socioeconômicas. Estima-se que o número de pessoas que vivem em países em que a disponibilidade hídrica não satisfaz a necessidade da região, crescerá de 300 milhões para valores maiores que três bilhões no ano de 2025 (HAGMAN, 1984; FALKENMARK, 1992).

O fenômeno das secas é considerado uma das adversidades naturais mais complexas e é percebida de maneira diferente em cada região, em conformidade com as características climáticas e os diferentes níveis de utilização da água. O estabelecimento de uma metodologia de análise e uma definição universal do que seriam as secas, são umas das dificuldades encontradas no estudo do fenômeno, e isso acontece por elas constituírem eventos extremos que ocorrem em consequência dos sistemas naturais se relacionando entre si, além das inter-relações dos próprios sistemas criados pelo homem (RODRIGUES *et al.* 1993).

Diante disso, Santos (1998) afirma que as secas podem ser caracterizadas de acordo com alguns parâmetros, entre eles: precipitação, temperatura, nível freático, escoamento superficial, volume armazenado em açudes, água no solo, evaporação, evapotranspiração, entre outros. Assim, de acordo com as especificidades do estudo, serão escolhidas as variáveis que

mais se adequam, levando em conta o tipo de análise aplicada e a disponibilidade de informações.

Em relação à escolha da precipitação como principal variável em estudos realizados em regiões secas, Matalas (1991) explica que:

A maior atenção dedicada à análise de séries de precipitação no estudo de regiões secas deve-se essencialmente à existência de séries temporais extensas e à maior facilidade de tratamento da informação, admitindo-se que as séries de precipitação são estacionárias. No entanto, com a sensibilização para as questões relativas às modificações do clima, a análise de tendências nas séries de precipitação pode-se revelar indispensável, assim como o desenvolvimento de métodos de análise de variáveis não estacionárias (apud SANTOS, 1998, p. 4).

Além das secas, existe o fenômeno denominado de desertificação, que é decorrente da degradação das terras de regiões áridas e semiáridas. A mesma pode ser causada por fatores relacionados a variações climáticas e a atividades antrópicas, no caso da última, principalmente por uso inadequado dos recursos naturais.

Foi a partir dos estudos do ecólogo João Vasconcelos Sobrinho, que o processo de desertificação no semiárido brasileiro foi formalmente identificado. Nos anos 1970 o pesquisador mencionou, através de um estudo pioneiro, que estava surgindo um deserto na região com todas as características ecológicas de desertos existentes em outras partes do mundo. Ele afirmava que o deserto teria as mesmas condições de inabitabilidade, entretanto, diferia de desertos típicos como o do Saara, pela incidência de precipitação e pela natureza do solo. Para o pesquisador, com condições de clima e solo não favoráveis a sobrevivência, seria permitida aos seres vivos que habitassem a faixa desertificada, apenas uma existência instável, e adaptada com extrema dificuldade (BRASIL, 2004).

A Convenção das Nações Unidas para Combate à Desertificação, em um dos seus estudos, relata que mais de 40% do território do planeta é considerado seco (subúmido seco, árido, semiárido ou hiperárido). Aponta ainda, que cerca de 35% da população mundial, ou seja, mais de dois bilhões de pessoas, vivem nessas terras. Sendo assim, prevenir a degradação dessas áreas e estimular o desenvolvimento sustentável, tem grandes implicações, na segurança alimentar, no desenvolvimento socioeconômico e na sobrevivência da população como um todo (UNITED NATIONS, 2011).

Nesse contexto, de condições climáticas extremas, onde as adversidades são maximizadas pelas relações do homem com o meio, torna-se indispensável a adoção de políticas públicas que favoreçam a coexistência com o clima da região. As políticas de convivência serão positivas, desde que possibilitem o desenvolvimento de uma relação harmoniosa entre a população e o espaço em que vivem. Dentre elas, merecem destaque as tecnologias sociais de captação e armazenamento de água das chuvas, as quais são de grande valia para a população nos períodos de estiagem, seja para consumo humano, dessedentação animal, produção de alimentos, entre outros fins.

2.2 Políticas públicas de combate à seca

A política pública, nada mais é que um agrupado de ações que objetivam garantir os direitos dos cidadãos, trazendo resoluções para as demandas de diversas áreas do âmbito público. Exprime o remodelamento do que é privado em ações para o espaço público (GUARESCHI, 2004).

A partir do século XVIII, com a introdução da população branca no contexto do semiárido brasileiro, a seca passou a ser considerada um problema relevante e entrou de forma permanente nos relatos históricos. O prejuízo dos colonizadores, em especial nas fazendas de gado, concomitante com interesses políticos locais, conduziram a interpretações ambientais reducionistas e construção da visão de que a seca seria a maior inimiga do povo nordestino. A realidade não favorável, com relação a clima, a terra e a população foram difundidas como explicação para os problemas regionais (SILVA, 2007).

No entanto, apenas após um período considerável, o governo passou a desenvolver ações de enfrentamento das adversidades resultantes do clima. Nesse caso, tem-se o advento de órgãos de planejamento regional, com destaque para a Inspetoria de Obras Contra as Secas (IOCS), em 1919, que se converteu em Inspetoria Federal de Obras Contra as Secas (IFOCS) e por último em Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS), em 1945.

No intuito de construir um arcabouço conceitual para o semiárido, o DNOCS reuniu peritos e desenvolveu estudos acerca das características

geológicas, hidrológicas, botânicas e agrônômicas da região. No entanto, manteve a visão de que a pobreza dela era em decorrência da falta de água. Baseado nisso, teve entre suas principais ações, a construção de açudes, a perfuração de poços, além do incentivo a agricultura irrigada (FARIAS, 2015).

Estudos sobre a região foram surgindo e se aprofundando, na tentativa de amenizar os danos à economia e à própria vida da população. Na medida em que olhares mais críticos foram atraídos para a problemática da seca, vieram à tona problemas sociais tão impactantes para o povo do semiárido quanto as questões exclusivamente climáticas. A concentração de riqueza e de poder político passou a ser visto como uns dos grandes fatores estabelecadores da condição de miséria da grande maioria da população. A adoção de medidas governamentais ineficientes, no âmbito do combate à seca, está até hoje, entre as principais causas dessa realidade malograda vigente.

Em 1958, o Nordeste foi assolado pela segunda grande seca na mesma década. Em paralelo a isso, era construída a cidade de Brasília e o centro-sul do país era visto como o espaço do progresso e da indústria. Foi no contexto de pressão sobre o governo de Juscelino Kubitschek, com relação ao abandono do Nordeste, que Celso Furtado, então um dos diretores do BNDES, foi incumbido de articular uma nova estratégia política para a região, a qual foi chamada de “Operação Nordeste”, também conhecida como Openo. Celso Furtado defendia a ineficiência das políticas vigentes para a região, criticava a construção de açudes como medida para resolver as deficiências na produção de alimentos, principalmente pelo fato das oligarquias agrárias locais terem controle sobre o DNOCS (CABRAL, 2011).

Como relata Cabral (2011), a SUDENE foi criada em 1959 como uma autarquia subordinada diretamente à Presidência da República, estando em seu comando Celso Furtado. As diretrizes e estratégias de atuação da Superintendência visavam alinhar questões relacionadas à falta de coordenação dos órgãos federais existentes, além de funcionar como um dispositivo de elaboração de políticas para o desenvolvimento do Nordeste. No entanto, as influências progressistas de Furtado e seu modo consciente de perceber a região colocaram em risco os privilégios das elites nordestinas, durando sua atuação apenas até o golpe de 1964. Com isso, houve o

retrocesso às antigas políticas adotadas pela SUDENE, ao invés do desenvolvimento em sentido amplo, provedor de justiça social, idealizado por Furtado.

Diversas outras ações foram implementadas com o passar do tempo, ao longo dos séculos XX e XXI, das quais se pode citar: Programa de Desenvolvimento Integrado e Sustentável do Semiárido (CONVIVER), Programa de Ação Nacional de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca (PAN-BRASIL), Programa de Promoção da Sustentabilidade de Espaços Sub-Regionais (PROMESSO). Além disso, foram adotadas iniciativas de convivência com o semiárido, programas de desenvolvimento regional e de combate à pobreza rural e os projetos de irrigação desenvolvidos pelo DNOCS e CODEVASF.

No entanto, muitas dessas ações acabaram por mascarar a realidade e, em diversas situações, garantir a manutenção da chamada “indústria da seca”. Nem com a existência da SUDENE, foi possível coordenar os demais órgãos, de maneira que fossem atingidos os objetivos esperados (ALMEIDA, 2015). Nesse caso, apesar das muitas políticas públicas, as consequências da seca - enquanto fenômeno meteorológico -, continuam a fazer parte da realidade econômica e social de milhões de nordestinos, o que nos leva a pensar essa questão do ponto de vista político, ainda que tenhamos que criar e divulgar formas de convivência da população com essa manifestação natural.

Uma estratégia de coexistência com a seca primordial está em aproveitar o período chuvoso para produção e estocagem de bens, para que esses possam ser utilizados na época de estiagem. Um desses principais bens é a própria água, que deve ser armazenada de forma segura e consumida racionalmente. Sendo assim, ao se enfrentar épocas de instabilidade hídrica com tecnologias sociais apropriadas, tende-se a fortalecer a organização social e estimular o intercâmbio, tanto da sabedoria tradicional, como de novas práticas (CONTI, 2013).

Como já referido, o semiárido brasileiro tem o maior volume de chuva do mundo para este tipo de clima, com uma média de chuvas que varia entre 250 e 800 mm/ano. Todavia, os solos são rasos, com subsolo formado em 70% por rochas cristalinas, dificultando a formação de mananciais perenes, além de

problemas com a salinização da água (MALVEZZI, 2007). Por isso, a captação da água das chuvas se configura um meio simples, viável e barato para a realidade da região.

Nesse contexto, em 1999 surgiu a Articulação no Semi-Árido Brasileiro (ASA), com o propósito de estimular políticas sustentáveis de convivência com o semiárido. A ASA defende que uma das maneiras mais eficazes de se adaptar às condições naturais da região, reside no armazenamento adequado da água da chuva (ALVES, 2013). Sendo assim, concorda com Gnadlinger (2001, p. 7), que considera a captação e armazenamento de água da chuva “expressão de um novo paradigma no planejamento do desenvolvimento da região, centrado na população local, sendo economicamente viável, socialmente justo e ecologicamente sustentável”.

2.3 Captação de água e convivência com a seca

No decorrer dos anos, nos vivenciamos uma mudança de perspectiva no que tange o combate à seca, deixando-se de considerar a escassez de água o motivo exclusivo para os problemas sociais do semiárido brasileiro. Percebe-se a possível coexistência com o semiárido, desde que sejam adotadas práticas sustentáveis e políticas públicas pertinentes, em substituição a luta desigual contra a seca (PONTES E MACHADO, 2009).

Nesse contexto, Conti introduz que:

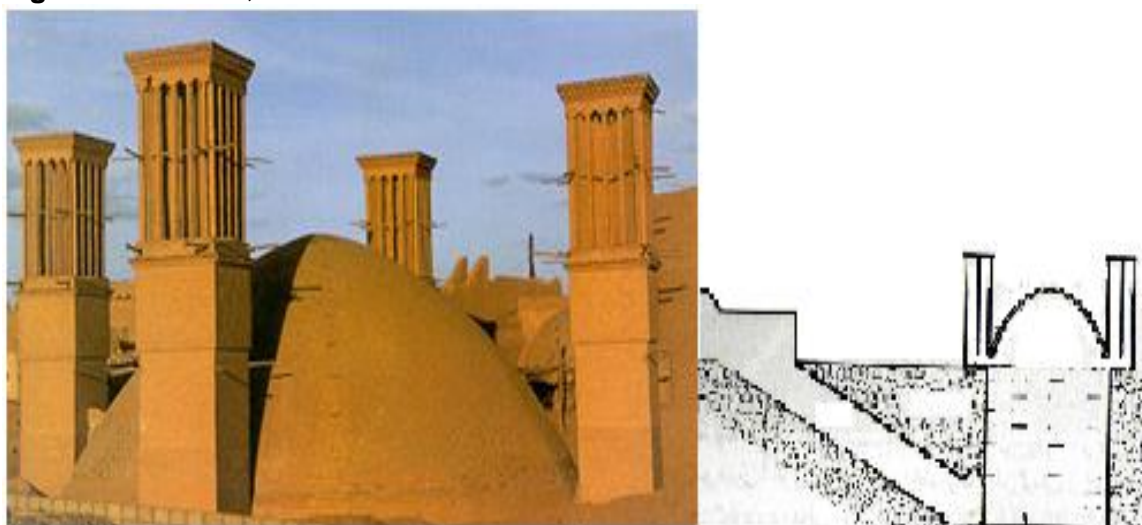
Com base na noção de convivência, o semiárido passa a ser compreendido a partir de suas potencialidades, da cultura, dos saberes e das capacidades de seu povo e seus atores sociais na criação e recriação de processos sociais que geram sua autonomia e seu empoderamento. Gradualmente, essa compreensão adquire visibilidade e consistência através da implantação de políticas públicas que respondam aos desafios que emergem da realidade do povo. Esse processo caracteriza um antes e um depois no semiárido, sobretudo pela implantação de políticas, programas e projetos que integram formas sustentáveis, expressam o exercício da cidadania e se traduzem em qualidade de vida da população envolvida (CONTI, 2013, p. 22).

Segundo Gnadlinger (2000), a captação de água das chuvas é uma técnica de convivência com a escassez de água demasiado comum por todo o planeta, sobretudo onde se tem clima árido e semiárido. Menciona que diversos métodos de captação foram inventados há milhares de anos, e de

forma independente em diversas partes do mundo. Alguns exemplos dessas técnicas milenares são os abanbars iranianos (Figura 2) e as cisternas desenvolvidas pelos Mayas, com capacidade de até 45.000 litros, as quais chamavam de Chultuns (Figura 3). Além deles, a província de Gansu, no Planalto de Loess na China, já dispunha de cacimbas e tanques para água da chuva há dois mil anos, assim como já existiam sistemas de manejo de água de chuva e agricultura de escoamento no deserto de Negev, hoje território de Israel e Jordânia.

Os abanbars iranianos são um tradicional sistema de captação de água de chuva comunitário, compostos por tanques e torres de resfriamento, ambos construídos de pedras ou tijolos. A ventilação proporcionada pelas torres de resfriamento proporciona a constante troca de ar no interior da cisterna, que é coberta com uma abóboda, garantindo água fresca o ano inteiro para a comunidade (GNADLINGER, 2014).

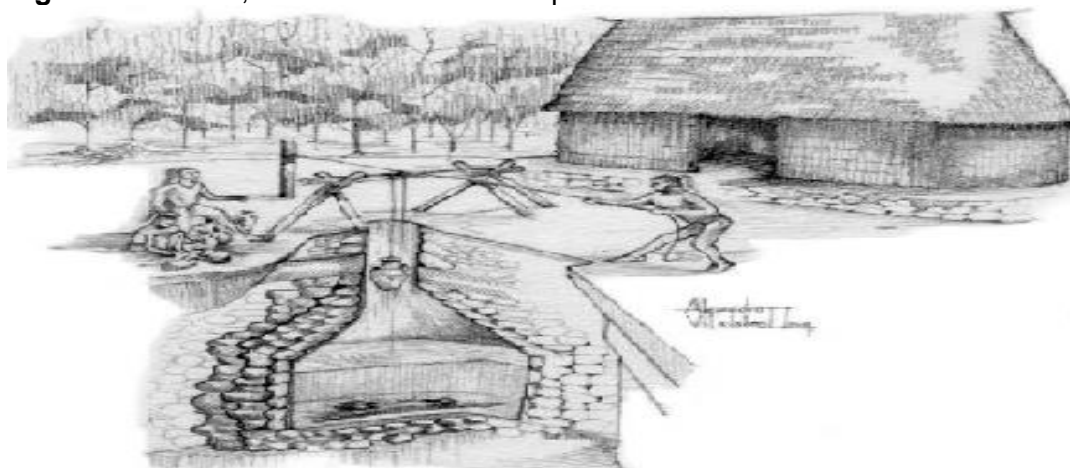
Figura 2- Abandar, cisterna tradicional do Irã



Fonte: Site do YazdLaleh Hotel.¹

¹Disponível em: <<http://www.yazdialehhotel.com/en/information/antiquities/ab-anbar-shesh-badgir.html>> Acesso em abril de 2021.

Figura 3- Chultun, cisterna tradicional do povo Maia



Fonte: Site AncientPages.²

No sudeste da Ásia, durante o Século XI, o Rei Udayadityavarman II, do povo Kmer, ordenou a construção de reservatórios chamados de Baray, que eram utilizados para abastecimento da cidade e para irrigação de grandes áreas de arroz. O Maior deles foi o Baray Ocidental (Figura 4), com 8 km de comprimento, 2 km de largura e 7 km de profundidade. O sistema utilizado por eles além de garantir água para irrigação de três colheitas anuais de arroz, ainda os protegia das chuvas abundantes de monções (FLETSCHER *et al.*, 2008; STONE, 2009).

Figura 4 - Baray, reservatório do povo Kmer



Fonte: Site Khmer Empire.³

²Disponível em: <<http://www.ancientpages.com/2017/06/24/mysterious-chultuns-ancient-underground-chambers-built-maya-purpose/>> Acesso em abril de 2021.

³ Disponível em: <BARAYS - Khmer Empire (weebly.com)> Acesso em abril de 2021.

Os romanos também ganharam fama por utilizarem técnicas de captação de água das chuvas, e por fazerem uso de aquedutos no abastecimento de suas cidades. Em Constantinopla, atual Istambul, na Turquia, encontra-se a famosa Cisterna da Basílica (Figura 5), com 80.000 m³, e mais de 150 cisternas distribuídas pela cidade e redondezas, todas datando a construção na época do Império Bizantino. Parte da água das cisternas era coletada dos telhados e das ruas pavimentadas da cidade, e outra era captada de fora da cidade e trazida através de canais. O recurso era utilizado para fins agrícolas, ornamentais, nos chafarizes da cidade e para os chamados “banhos imperiais” (CROW *et al.*, 2008).

Figura 5 - Cisterna da Basílica de Constantinopla

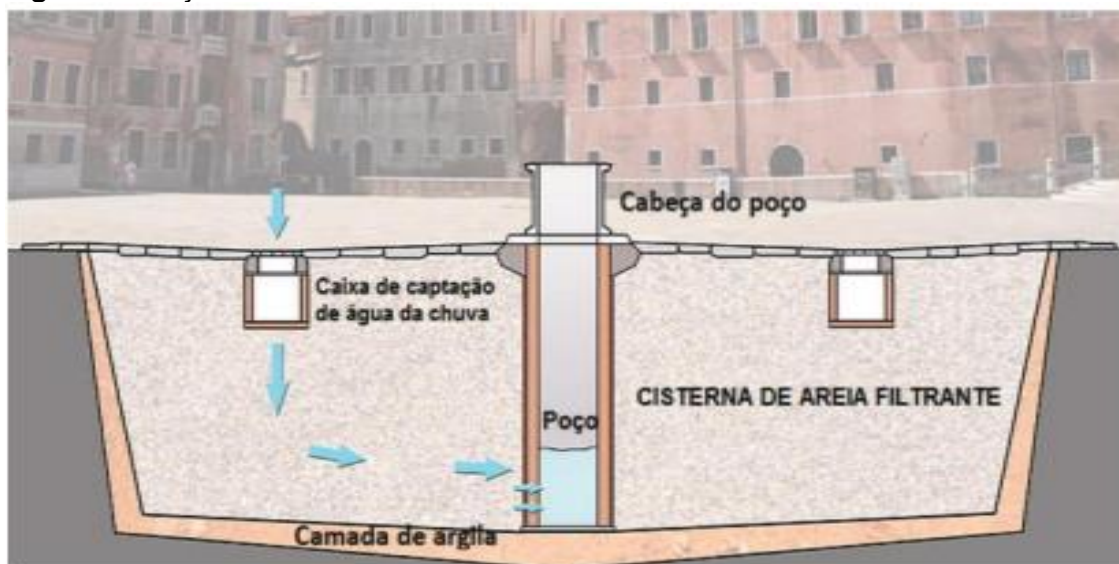


Fonte: Crow, 2008.

Em Veneza (Itália), apesar de estar rodeada pelas águas do mar, a obtenção de água potável para abastecimento da população sempre foi um grande desafio até a Idade Média. Foi então que os venezianos passaram a construir cisternas subterrâneas filtrantes (Figura 6), que recebiam água de chuva captada pelos telhados e plataformas feitas especialmente para esse fim. A água captada era filtrada por uma cisterna cheia de areia, impermeabilizada com uma camada de argila, e era retirada pela população através de poços, geralmente encontrados nas praças da cidade. Tem-se

registro que, cerca de 6.700 poços foram construídos durante séculos e funcionaram até meados do século XIX (GNADLINGER, 2015).

Figura 6 - Seção de cisterna filtrante veneziana



Fonte: Gnadlinger, 2015.

No Sri Lanka, o rei Parakramabahu I, nos seus 33 anos de reinado - de 1153 a 1186 – ordenou a construção de 2.376 cisternas, 163 reservatórios, 3.910 canais e 165 barragens. Um ponto marcante desse povo foi a preocupação com a conservação e gestão dos recursos hídricos, dando bastante atenção para a concepção e utilização de sistemas de captação de água de chuva. Foi atribuída, a Parakramabahu I, o Grande, a frase que é considerada como uma das primeiras declarações políticas relacionadas à gestão das águas, destacando a importância da captação de água pluviais: “Que nenhuma gota de água que caia na terra chegue ao mar, sem antes ter servido à população” (ARIYANANDA, 2010).

Atualmente, com respeito às experiências internacionais com captação de água, estão em destaque países como China, Nova Zelândia e Tailândia. Esses países têm investido maciçamente em programas de dimensões respeitáveis, de maneira que grande parte da população depende de sistemas de captação através de calhas nos telhados, semelhantes às utilizadas no Brasil. Na China, o governo da Província de Gansu implantou um programa que beneficiou aproximadamente 2,5 milhões de pessoas. Já na Nova Zelândia, segundo dados do Ministério da Saúde, 11% da população utiliza a

água da chuva como a principal fonte para consumo. Enquanto que na Tailândia, 4,3% da população urbana e 25,7% da população rural, garante a disponibilidade desse recurso para consumo humano através de sistemas de coleta de águas pluviais. Vale ressaltar também, o incentivo advindo de agências e organizações internacionais e dos próprios governos, que vem respaldando esse tipo de sistema para diversos países como Estados Unidos, Bangladesh, Honduras, Singapura, Quênia e Tanzânia (GOMES et al, 2013).

De acordo com Fewkes (1999), entre os vários motivos que levaram ao interesse em captar e armazenar água de chuva, merecem ser mencionados:

- a) Contaminação das águas superficiais e subterrâneas;
- b) Insucesso de sistemas centralizados por consequência de falhas na operação e manutenção;
- c) A substituição dos telhados de palha por coberturas com materiais impermeáveis nas residências de áreas rurais;
- d) O surgimento de tecnologias de armazenamento de água mais eficientes e econômicas;
- e) O crescimento populacional em áreas rurais e o consequente aumento da demanda de água.

Atualmente uma das tecnologias mais efetivas e de baixo custo para o armazenamento de água pluvial, é conhecida por cisternas de placas (Figura 7). Estas são reservatórios confeccionados com placas de cimento pré-moldadas, que tem a finalidade de estocar água para as necessidades básicas das famílias do semiárido em época de estiagem. Com relação à estrutura, tem forma cilíndrica ou arredondada, com 2/3 de sua altura enterrada, além de ser coberta para evitar contaminação e evaporação da água armazenada. Para que a água da chuva seja direcionada até a cisterna, são instaladas calhas de zinco ou PVC no telhado das casas, que conduzem a água até a cisterna (FRANÇA et al, 2010).

Figura 7 - Cisterna cilíndrica de placas pré-moldadas



Fonte: Santos (2010).

O programa que mais trabalhou com cisternas de placas no país se chama Programa de Formação e Mobilização Social para a Convivência com o Semi-árido - Um Milhão de Cisternas Rurais (P1MC), e foi fruto da Terceira Sessão da Conferência das Partes das Nações Unidas da Convenção de Combate à Desertificação (COP 3), em 1999 na capital Pernambucana, na qual sessenta e uma organizações não-governamentais compuseram a Articulação do Semi-Árido (ASA). O programa tem como objetivo promover a convivência com a seca, garantindo acesso a equipamentos de captação e armazenamento de água de chuva a um milhão de famílias. No P1MC são construídas cisternas de 16 mil litros, além de fazer a ampliação e reparos dos telhados das casas que necessitarem. Tais cuidados são tomados por serem encontradas casas na região com coberturas inapropriadas para a captação, como é o caso de telhas de amianto, coberturas de palha ou telhados com área insuficiente (SILVA, 2007).

Além do P1MC, existe o Programa Uma Terra Duas Águas (P1+2), o qual tem como objetivos proporcionar à população de áreas rurais o acesso à água e a terra, assim como seu manejo sustentável, a promoção da segurança alimentar e nutricional e a geração de empregos e renda às famílias do semiárido. O P1+2 trabalha com outras tecnologias além das cisternas de placas, como as do tipo enxurrada e calçadão, os tanques de pedra e as barragens subterrâneas (ALVES, 2013).

Dentro do contexto dos programas de convivência com o semiárido, Alves (2013) acrescenta que:

A construção de cisternas foi intensificada ainda mais a partir de 2003, por meio da Secretaria Nacional de Segurança Alimentar, a qual forneceu apoio a sociedade civil e aos governos estaduais, por meio do Programa Cisternas. O Projeto Cisternas não é diferente do P1MC e P1+2. Ele tem os mesmos objetivos, que consistem em possibilitar o acesso à água da chuva e fomentar a formação e a capacitação para a convivência sustentável com o semiárido. Executado sob a forma de transferência de recursos, repassados pelo Ministério do Desenvolvimento Social e Combate à Fome aos estados, municípios e sociedade civil organizada do semiárido brasileiro, por meio da celebração de convênios ou termos de parceria, desde que cumpridas as exigências estabelecidas no Edital de Seleção Pública (ALVES, 2013).

Na cisterna calçadão (Figura 8), a área de captação é um espaço impermeável denominado calçadão, ao invés do telhado da casa. A finalidade principal dessa tecnologia hídrica social é a de possibilitar a produção de alimentos pelas famílias do semiárido. As cisternas calçadão implantadas pelo governo tem área de captação de 200 m² e acumula até 52.000 litros de água na cisterna (MOURA, 2015).

Figura 8 - Vista de uma cisterna modelo calçadão



Fonte: Site Nill Júnior, 2017⁴.

A cisterna denominada enxurrada (Figura 9), dispõe de 52 mil litros de capacidade de armazenamento e é construída dentro da superfície, ficando exposta apenas a cobertura de forma cônica. Além disso, é construída em

⁴Disponível em: <<http://nilljunior.com.br/convivencia-com-o-semiarido-e-cisterna-calcaado-sao-compartilhadas-em-angola/>> Acesso em out. 2020.

áreas que favoreçam o escoamento de forma natural, através da gravidade. O terreno é utilizado como área de captação. No intuito de evitar que detritos adentrem o reservatório, é imprescindível a construção de tanques filtrantes. A retirada da água da cisterna é realizada com a utilização de bombas manuais (COOPERVIDA, 2014).

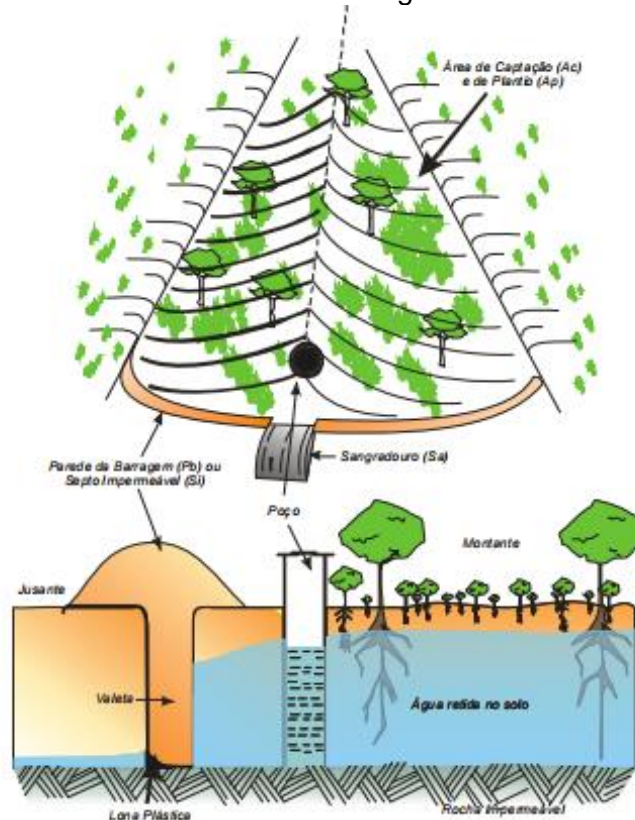
Figura 9 - Vista de uma cisterna modelo enxurrada



Fonte: Coopervida, 2014.

A barragem subterrânea (Figura 10) é uma estrutura hidráulica, constituída por um barramento, chamado de septo impermeável, que vai da parte impenetrável do subsolo até acima da superfície. Essa barreira retém as águas das chuvas que escoam no interior do solo e a cima dele, ou seja, a água fica contida dentro do solo, o que evita a evaporação. Assim, os beneficiados pela tecnologia ficam com o solo saturado por um bom período de tempo após a época de chuvas, garantindo o plantio mesmo em meses de estiagem (SILVA et al., 2007).

Figura 10 - Esquema do funcionamento da barragem subterrânea



Fonte: Silva et al. 2007.

Tanques de pedra (Figura 11) são cavernas ou escavações em afloramentos rochosos, onde a água das chuvas se acumula naturalmente. Como a presença de lajedos é comum no semiárido brasileiro, é natural a formação desse tipo de reservatório.

Figura 11 - Vista de um tanque de pedra



Fonte: Silva, 2015.

Esse tipo de tecnologia social é usualmente de uso comunitário. Para aumentar a capacidade de armazenamento de água, é comum a construção de barreiras na porção menos elevada e ao redor do tanque (SILVA, 2015).

2.4 Gestão da água em ambientes urbanos

Por muitas vezes a água - que é um bem natural indispensável à vida -, é tratada apenas como um recurso a ser explorado. Seu uso tornou-se indiscriminado e sem a devida preocupação com as consequências ambientais e sociais relacionadas à sua disponibilidade e qualidade (BACCI; PATACA, 2008). Logo, é indiscutível a importância de debater as políticas públicas vigentes e as maneiras de planejamento e gestão que devem ser empregadas para esse bem essencial ao ser humano e as demais espécies. Essa análise está correlacionada com a Educação Ambiental, no sentido que, a consciência e a participação da população são fundamentais para uma justa gestão dos recursos naturais.

Nesse contexto, no que diz respeito ao planejamento ambiental, o processo de urbanização deve acontecer respeitando as características geológicas dos terrenos. Além disso, deve-se implantar toda a infraestrutura necessária, a exemplo da rede de drenagem pluvial e pavimentação, avaliando todos os fatores geológicos relacionados, a fim de evitar riscos de desastres ligados à erosão acentuada, inundações, rebaixamento da superfície, entre outros (BERTÉ, 2009).

De acordo com Christofidis *et al.* (2019), a percepção humana em relação às águas pluviais se modificou gradualmente, e os avanços técnicos que ocorreram podem ser vinculados a essa dinâmica da percepção hídrica. O primeiro momento, que entre outras denominações, foi chamado de drenagem urbana tradicional, adotava medidas estruturais e não estruturais, objetivando o afastamento imediato das águas pluviais, com intuito de reduzir impactos, como das cheias e proliferação de doenças. Ou seja, a água era considerada indesejada, um problema que deveria ser eliminado com certa urgência.

Em um segundo momento, denominado de drenagem urbana sustentável, foi adotada uma postura de favorecimento da infiltração, com controle da água da chuva a partir da retenção dela, favorecendo a

recomposição das condições naturais do ciclo hidrológico. Com isso, o problema com as enchentes foi minimizado, assim como, as interferências nos corpos d'água e áreas urbanas adjacentes.

Por fim, no terceiro momento, tenta-se alcançar uma relação de sintonia com as águas e a natureza como um todo, compreender profundamente os ecossistemas hídricos, de modo a aprimorar as atividades e empreendimentos realizados nesses ambientes, para atingir uma harmonia com os ciclos naturais. Essa última fase, é chamada de hidromaturidade ou hidrosuperação, e emerge da convergência entre a engenharia prática e a ideia de desenvolvimento sustentável.

Até o século XX, o principal objetivo do afastamento das águas das chuvas e dos efluentes era impedir a disseminação de doenças, já que as condições sanitárias precárias favoreciam a contaminação das fontes de abastecimento da própria população que gerava os efluentes. A fase foi também intitulada de higienista, e a estratégia utilizada era abastecer a cidade através de fontes seguras, e despejar o esgoto (sem tratamento) a jusante do manancial da cidade. No entanto, essa atitude apenas transferia o problema para adiante, além de que após a Segunda Guerra Mundial, o crescimento urbano acelerou, culminando em um crescimento populacional exacerbado, com grande concentração de pessoas nas cidades, o que levou ao colapso do meio urbano, grande parte por consequência da falta de tratamento dos efluentes e da poluição atmosférica (TUCCI, 2008).

A coleta e transferência da água das chuvas para jusante acarretam a elevação do pico de cheias nos cursos de água e a diminuição do tempo de concentração, acentuando o já problemático cenário encontrado nas cidades, no sentido que, tais soluções parciais na maior parte dos casos resultam em inúmeros problemas intersetoriais (DONOFRIO *et al*, 2009).

A ocupação urbana no Brasil acumula diversos casos de adoção de uma postura que nutriu o surgimento de impactos adversos, tanto nos aspectos sociais, como nos ambientais e econômicos. Podemos citar a ocorrência de ocupação irregular de áreas pantanosas, que levaram ao ressecamento de áreas alagadiças, aterramento de áreas inundáveis e retificação de rios. Temos ainda, a prática de aterramento de cursos d'água,

para favorecimento da construção civil, com a “criação” de terras para comercialização, o que gera consequências irreversíveis. Christofidis *et al.* (2019) expõem bem em suas palavras o impacto gerado por desse tipo de postura, que foi largamente adotada no período de intensa urbanização do país:

Nessa fase, em que houve intensa urbanização no Brasil, os rios transformaram-se em canalizações e/ou cederam espaços para as vias de tráfego de veículos: ou seja, os rios se tornaram ruas; e a reação a isso é que as ruas apresentam altas possibilidades de se tornarem rios nas ocasiões de chuvas intensas (CHRISTOFIDIS *et al.*, 2019, pg. 98).

Na década de 1970, houve certo avanço na gestão das águas urbanas, que foi marcado pela aprovação do “Clean Water Act”, nos Estados Unidos. A fase foi denominada corretiva, e teve como diferencial, o alto investimento em tratamento de esgoto doméstico e industrial, contribuindo para a melhoria da qualidade da água dos corpos hídricos. Foi também identificada a insustentabilidade de investimentos direcionados exclusivamente para a construção de obras de drenagem que aumentassem o escoamento em razão da urbanização, como a canalização de rios naturais. Ao invés disso, procurou-se investir em sistemas de amortecimento (TUCCI, 2008).

Apesar dos investimentos, constatou-se que ainda assim persistia uma parte da poluição nos sistemas hídricos, que advinha das inundações no meio urbano e rural, a chamada poluição difusa. Foi dentro desse contexto que, por volta de 1990, os países mais desenvolvidos passaram a investir numa política baseada na sustentabilidade e no tratamento de água e esgoto de forma eficiente. Essa fase foi chamada de desenvolvimento sustentável, e infelizmente não é a realidade do nosso país, que está mais próxima da fase higienista (TUCCI, 2008).

Tabela 1 - Fases do desenvolvimento das águas em ambientes urbanos

Fase	Características	Consequências
Pré-higienista: até início do século XX	Esgoto em fossas ou na drenagem, sem coleta ou tratamento e água da fonte mais próxima, poço ou rio.	Doenças e epidemias, grande mortalidade e inundações.
Higienista: antes de 1970	Transporte de esgoto distante das pessoas e canalização do escoamento.	Redução das doenças, mas rios contaminados, impactos nas fontes de água e inundações.
Corretiva: entre 1970 e 1990	Tratamento de esgoto doméstico e industrial, amortecimento do escoamento.	Recuperação dos rios, restando poluição difusa, obras hidráulicas e impacto ambiental.
Desenvolvimento sustentável: depois de 1990	Tratamento terciário e do escoamento pluvial, novos desenvolvimentos que preservam o sistema natural.	Conservação ambiental, redução das inundações e melhoria da qualidade de vida.

Fonte: Tucci, 2008.

A concentração da população em espaços reduzidos, como acontece nos ambientes urbanos, acaba por gerar a competição pelos mesmos recursos naturais, em especial solo e água, culminando na destruição da biodiversidade. A falta ou inadequação no planejamento urbano, tanto para a dita cidade formal quanto para a informal, ocasiona diversos problemas ligados à infraestrutura nesses ambientes. Tucci (2008) menciona alguns dos problemas que mais afetam o ambiente urbano, no que diz respeito a infraestrutura referente à água:

- Falta de tratamento de esgoto, sendo os efluentes lançados na rede de escoamento pluvial ou diretamente nos rios urbanos;
- Falta de rede de drenagem urbana, sofrendo com frequentes inundações com o aumento da impermeabilização do solo;
- Ocupação dos leitos dos rios, sofrendo com as frequentes inundações;
- Impermeabilização e canalização dos rios urbanos com aumento da vazão de cheia;
- Aumento da concentração de resíduos sólidos e diminuição da qualidade da água pluvial nos rios urbanos;

- Qualidade da água reduzida por falta de tratamento dos efluentes, gerando risco para a saúde da população;
- Eutrofização dos reservatórios que abastecem as cidades por consequência da ocupação das áreas de contribuição.

A coleta de água das chuvas é comumente realizada há séculos, tanto em zonas urbanas quanto rurais, e essa prática antiga tinha como principal finalidade o uso doméstico e em menor escala, o uso agrícola. Nas cidades modernas o uso dessa água tem crescido gradativamente, sendo considerado de grande auxílio na solução dos desafios relativos ao fornecimento de água de boa qualidade para a população. Além de que, é crescente a preocupação com a necessidade de uma gestão do sistema hidrológico, já que é sabido da interferência negativa que a maioria dos ambientes urbanos gera no ciclo hidrológico (BUHAUG & URDAL, 2013).

Algumas das principais alterações hidrológicas que ocorrem nas áreas urbanas estão relacionadas com a diminuição da infiltração de água nos solos, em consequência da pavimentação de ruas, da construção de edificações e compactação do solo exposto. Como alguns dos impactos dessa realidade, tem-se a redução do nível de água nos lenções freáticos, aumento do risco de inundações durante picos pluviométricos e aumento do transporte de poluentes e sedimentos nas áreas urbanas (NIEMCZYNOWICZ, 1999; GHIMIRE *et al.*, 2014). Questões como as citadas, juntamente com o crescimento da população e as alterações climáticas, afetam a disponibilidade de recursos hídricos, sendo indispensável para a tomada de medidas que amenizem os impactos e supram a demanda de água da cidade.

Para alguns autores, como Gurung e Sharma (2014), a captação de água da chuva se torna importante, no sentido de reduzir a dependência do sistema de abastecimento de água convencional, assim como, para diminuir os custos ligados à manutenção, operação e infraestrutura desse. Além disso, contribui para abrandar o escoamento no meio urbano, combatendo a ocorrência de cheias e pode ainda ser uma fonte de água para fins não potáveis que não necessita de tratamentos biológicos ou químicos complexos.

2.5 Qualidade da água pluvial

Durante a ocorrência de precipitação as águas das chuvas podem carrear grandes quantidades de poluentes nas áreas urbanas. Nesses períodos, há a lavagem das superfícies de ruas e telhados pelas águas pluviais, o que acaba por levar ao transporte de substâncias e detritos para a rede de drenagem pluvial, e por fim aos corpos d'água.

Graças a sua ampla dispersão, as águas pluviais podem disseminar poluentes no decorrer de extensas áreas, afetando tanto as águas superficiais como as subterrâneas. Dependendo do montante transportado, e dos poluentes ao qual está submetida, essa fonte de poluição pode eventualmente provocar implicações preocupantes nas áreas circunvizinhas, podendo interferir nos ecossistemas e até na saúde humana (SANTOS, 2010).

Segundo Vivacqua (2005), alguns fatores contribuem para a variação da qualidade da água pluvial, entre eles podem ser citados como principais: a frequência de limpeza da cidade, assim como a educação da população, no sentido de não descartar resíduos nas ruas; intensidade, distribuição temporal e espacial da precipitação; sazonalidade e o uso que se dá a área urbana.

O problema da qualidade das águas pluviais está no transporte dos poluentes existentes nas superfícies. A primeira descarga (*first flush*) após um período sem precipitação é a que contém maior nível de contaminantes, pois é quando esses poluentes se concentram. As descargas posteriores devem apresentar uma carga poluente consideravelmente menor. Dessa forma, segundo Schueler (1987), de maneira geral, os primeiros 25 milímetros de pluviosidade transportam grande parte da carga poluente total.

Outra possibilidade de contaminação advém da possível exposição a águas residuárias. Em se tratando de cidades de pequeno porte, como é o caso de grande parte das cidades brasileiras, pela inexistência ou precariedade das estruturas ligadas ao saneamento básico, as águas residuárias são lançadas a céu aberto e acabam por escoar pelas vias de escoamento pluvial. De acordo com Mattos (2003), nos sistemas separativos, ou seja, nos sistemas em que as águas residuais e pluviais não são misturadas propositalmente, os principais fatores que levam a esse tipo de contaminação das águas pluviais, são provenientes de:

- Despejo desse tipo de efluente a céu aberto;
- Extrapolação do volume de fossas sépticas (quando existente), por dimensionamento inadequado ou falta de manutenção;
- Ligações incorretas entre a rede coletora de esgoto e o sistema de drenagem de águas das chuvas;
- Redes prediais com águas residuais e pluviais misturadas;
- Acesso das águas das chuvas a rede coletora de esgoto pelas entradas das câmaras de visita.

A rede de esgotos pode ser combinada (sanitário e pluvial num mesmo conduto) ou separativa (rede pluvial e sanitária separada). Apesar das leis estarem a favor do sistema separador, a falta de rede de esgotamento sanitário e as inúmeras ligações clandestinas existentes, inviabiliza a ocorrência desse na prática. A falta de recursos financeiros, ou a má utilização desses, contribui para que as prefeituras optem por soluções inadequadas, como é o caso da utilização da rede pluvial para transporte de esgoto sanitário.

As águas pluviais são suscetíveis de contaminação por diversos tipos de poluentes. Nas áreas urbanas, diversas são as fontes de contaminação que podem ocasionar a deterioração da qualidade das águas. No quadro a seguir, são mencionadas possíveis fontes de contaminação e seus poluentes associados.

Quadro 1 - Fontes de contaminação em áreas urbanas e seus poluentes associados

Tráfego de veículos	<ul style="list-style-type: none">- Metais pesados (chumbo, zinco, cobre, cádmio e mercúrio)- Hidrocarbonetos (óleos, gorduras, gasolina e solventes)- Sedimentos
Manutenção das áreas ajardinadas	<ul style="list-style-type: none">- Fósforo- Azoto- Fertilizantes/Pesticidas- Resíduos orgânicos
Poluição aérea	<ul style="list-style-type: none">- Poluentes orgânicos (PAHs, pesticidas, PCBs, fenóis)- Metais pesados- Azoto- Óxidos de enxofre- Hidrocarbonetos
Resíduos de animais	<ul style="list-style-type: none">- Bactérias- Vírus- Fósforo- Azoto
Manutenção municipal	<ul style="list-style-type: none">- Sedimentos- Hidrocarbonetos
Conexões à rede de saneamento	<ul style="list-style-type: none">- Bactérias- Vírus- Fósforo- Azoto- Metais Pesados
Actividade construtiva	<ul style="list-style-type: none">- Sedimentos/detritos- Fósforo- Azoto

Fonte: Minnesota Stormwater Steering Committee, 2005, apud Santos (2010, p. 65)

No Brasil, é comum em algumas cidades a utilização de lagoas de detenção, como um auxílio na contenção de inundações. Segundo Zanella (2015), o emprego desse tipo de dispositivo de contenção pode contribuir para a decantação de poluentes que são agregados a água na atmosfera durante a precipitação ou no escoamento superficial. Ou seja, além de amortecer as vazões de cheias e reduzir os riscos de inundação, pode ainda favorecer a melhoria da qualidade da água. Foi constatado por Begum e Rasul (2009) o aumento da qualidade da água de chuvas, ao utilizar dispositivos de acumulação na Austrália, com melhoria no pH, condutividade e concentração de sais.

A partir da análise da qualidade dessa água armazenada, podem-se estabelecer os possíveis usos para o recurso. O conhecimento sobre as atividades exercidas na bacia hidrográfica, que possam levar a contaminação

das lagoas de detenção, será um ponto crucial no combate ao comprometimento qualitativo da água das mesmas.

Levando em consideração que a água pluvial estocada em dispositivos de armazenamento em geral não passa por um tratamento para posterior uso no Brasil, se torna ainda mais importante coibir, por exemplo, o despejo irregular de efluentes domésticos, que acabam entrando na rede de drenagem e a posteriori nas lagoas de detenção. Assim, é garantida a preservação das lagoas e da qualidade de suas águas, além de fomentar possibilidades de utilização produtiva desse recurso, podendo-se alcançar outros ganhos ambientais, econômicos e sociais para a localidade, como: recarga do aquífero, promoção de atividades esportivas e lazer no entorno, crescimento da vegetação, aumento do conforto térmico, criação de hábitat para fauna local etc (WENDEL, DOWNS E MIHELICIC, 2011).

De acordo com Philippi *et al* (2006), existem alguns fatores que interferem na qualidade da água da chuva com destaque para a localização geográfica da área de captação (área urbana, área rural, região litorânea etc.); a presença ou não de vegetação; os materiais que compõem o sistema de captação e armazenamento e o estado de limpeza deles. Além disso, características meteorológicas da chuva como duração, intensidade e tipo, assim como a estação do ano e a dinâmica dos ventos também podem causar alterações na qualidade da água pluvial.

A água das chuvas costuma sofrer modificações em sua qualidade na medida em que ela precipita pela atmosfera, lavando possíveis substâncias contaminantes que estão presentes na mesma. As substâncias contidas no ar podem ser fruto de ações antrópicas ou características naturais da localidade e vão ser fator interveniente na qualidade da água captada. Como exemplo, temos que em ambientes marítimos, há uma chance maior de se encontrar cloro, potássio, sódio e magnésio na água da chuva. Já em grandes extensões de área sem pavimento é comum encontrar sílica, alumínio e ferro (partículas de origem terrestre), além de nitrogênio, fósforo e enxofre (componentes de origem biológica) (PETERS, 2006).

As atividades antrópicas são as maiores causadoras de alteração na qualidade da água das chuvas. Entre os principais poluentes liberados na

atmosfera estão os compostos de enxofre e nitrogênio, monóxido e dióxido de carbono, compostos halogenados, material particulado, entre outros. Estas substâncias são provenientes da indústria de celulose, fertilizantes, cimento, refinarias, da construção civil, pedreiras, da combustão de carvão e combustíveis, entre outras fontes (PHILIPPE *et al*, 2006).

A retirada de poluentes atmosféricos acontece por consequência da gravidade ou graças à ação das gotas de chuva, sendo chamados de deposição seca e úmida, respectivamente. No caso da úmida, podemos ter a reação de nitratos e sulfatos - presentes na atmosfera graças ao lançamento de compostos de nitrogênio e enxofre - com a água pluvial, formando ácidos nítrico e sulfúrico, maiores responsáveis pela chuva ácida (MAY, 2004).

Em relação à legislação que regulamenta a reutilização de água das chuvas, até o ano de 2007, o Brasil não dispunha de leis específicas nesse âmbito. Ficava a cargo dos municípios implementarem leis que exigissem ou incentivassem o aproveitamento das águas pluviais.

Na cidade de São Paulo, foi criada a Lei 13.276, de 05 de janeiro de 2002, obrigando que lotes com mais de 500 m² de área impermeabilizada, interceptassem e armazenassem a água pluvial e que esta só fosse descartada no solo para infiltração ou na rede de pública de coleta, uma hora depois do início da chuva, atenuando assim, a ocorrência de enchentes. Já em Curitiba, foi criado no ano de 2003, o Programa de Conservação e Uso Racional da Água em Edificações – PURAE, que incentivava a captação e o uso da água proveniente das chuvas para fins não potáveis como limpeza de pavimentos, automóveis, roupas, jardinagem, entre outros. A Lei 10.506, de 05 de agosto de 2008, deu origem ao Programa de Conservação, Uso Racional e Reaproveitamento das Águas na Cidade de Porto Alegre, e esta foi responsável por estabelecer diretrizes para a captação de água nas edificações e posterior uso para fins não potáveis, além de definir que as águas de lagos artificiais e chafarizes, fossem de reaproveitamento.

A primeira norma a instituir requisitos para o aproveitamento de água de chuva em áreas urbanas foi a NBR 15527/07. A norma especifica que a água, após tratamento adequado, deve ser utilizada para fins não potáveis, a exemplo de: lavagem de automotores, descargas de aparelhos sanitários,

irrigação de jardins, limpeza de ruas e calçadas, espelhos d'água e usos industriais. Além disso, aponta que os padrões de qualidade devem ser definidos de acordo com a utilização prevista e tomando como base o quadro a seguir para usos mais restritivos.

Quadro 2 - Parâmetros de qualidade de água de chuva para usos restritivos não potáveis

Parâmetro	Análise	Valor
Coliformes totais	Semestral	Ausência em 100 mL
Coliformes termotolerantes	Semestral	Ausência em 100 mL
Cloro residual livre ^a	Mensal	0,5 a 3,0 mg/L
Turbidez	Mensal	< 2,0 uT ^b , para usos menos restritivos < 5,0 uT
Cor aparente (caso não seja utilizado nenhum corante, ou antes da sua utilização)	Mensal	< 15 uH ^c
Deve prever ajuste de pH para proteção das redes de distribuição, caso necessário	mensal	pH de 6,0 a 8,0 no caso de tubulação de aço carbono ou galvanizado
NOTA Podem ser usados outros processos de desinfecção além do cloro, como a aplicação de raio ultravioleta e aplicação de ozônio.		
^a No caso de serem utilizados compostos de cloro para desinfecção.		
^b uT é a unidade de turbidez.		
^c uH é a unidade Hazen.		

Fonte: NBR 15527/07.

Nos Estados Unidos, quem estabelece os padrões para reuso de água de chuva é a Agência de Proteção Ambiental Americana – USEPA. Entre as aplicações regulamentadas estão o reuso para fins recreativos, industriais, agrícolas e urbanos (rega de áreas verdes, combate a incêndios, contenção de poeira, fabricação de concreto, entre outros). Os padrões exigidos para os diversos usos variam de acordo com o estado, como pode ser observado na tabela 2.

Tabela 2 - Padrões de qualidade de água para reuso nos Estados Unidos

PARÂMETRO	Arizona	Califórnia	Flórida	Hawai	Texas	Washington
Tratamento	Tratamento secundário filtração e desinfecção	Oxigenação Coagulação filtração e desinfecção	Tratamento secundário, filtração e desinfecção em alto nível	Oxigenação filtração e desinfecção	-	Oxigenação, Coagulação, filtração e desinfecção
DBO5 (mg/L)	-	-	20	-	5	30
Sólidos Susp. Totais (mg/L)	-	-	5	-	-	30
Turbidez (UNT)	2 - 5	2 - 5	-	2	3	2 - 5
Coliformes Totais (NMP/100mL)	-	2,2 (média) 23 (máximo)	-	-	-	2,2 (média) 23 (máximo)
Coliformes Termotolerantes (NMP/100mL)	Ausência (em média) 23 (máximo)	-	Ausência em 75% das amostras 25 (máximo)	2,2 (média) 23 (máximo)	20 (média) 75 (máximo)	-

Fonte: USEPA, 2004.

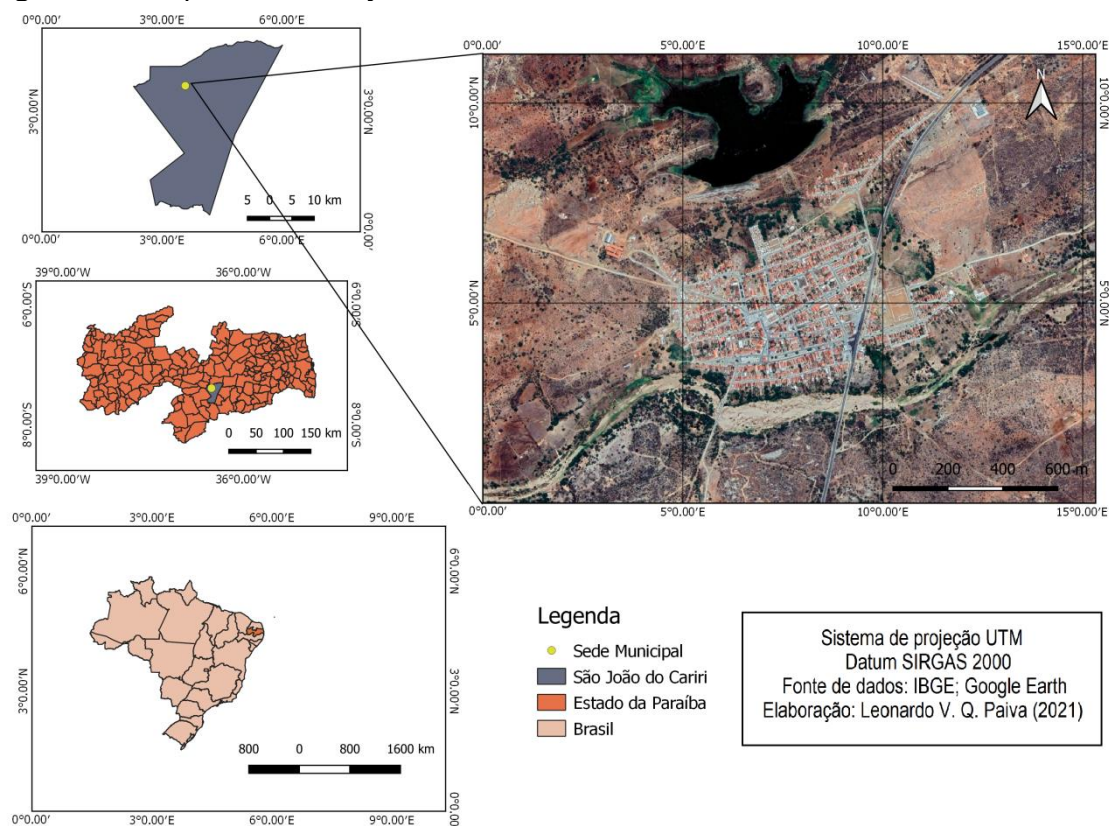
No dia 31 de Outubro de 2017, foi publicada no Diário Oficial da União a Lei nº 13.501/2017, que acrescenta um inciso à Lei 9.433/97, conhecida por Lei das Águas, acrescentando o seguinte objetivo: incentivar e promover a captação, a preservação e o aproveitamento de águas pluviais. Apesar do avanço na legislação que diz respeito ao uso da água pluvial, percebe-se que ela ainda é pouco atuante, carecendo de ações mais incisivas nesse sentido. Ao contrário disso, o que se observa é o enfraquecimento de programas já existentes como o Programa Um Milhão de Cisternas que vem perdendo recursos a cada ano que passa.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Descrição da área estudada

O trabalho foi desenvolvido na área urbana de São João do Cariri (sede na latitude 07°23'27"S, longitude 36°31'58"W e altitude de 458 m) que dispõe de uma extensão territorial de aproximadamente 523.200 m², enquanto todo o município tem em torno de 612,966 km² (IBGE,2020). Segundo o censo demográfico de 2010, a população do município era de 4.344 habitantes, estando 2.347 deles concentrados na área urbana. A estimativa do IBGE para 2020 foi de uma população de 4.184 habitantes. O município encontra-se situado a uma distância de 213,8 km da capital do estado e está localizada no estado da Paraíba, região geográfica imediata de Campina Grande. Os municípios que fazem fronteira com São João do Cariri são: Boa Vista, Gurjão, Cabaceiras, Caraúbas, São Domingos do Cariri, Coxixola, Parari e Serra Branca.

Figura 12 - Mapa de localização da área urbana de São João do Cariri – PB

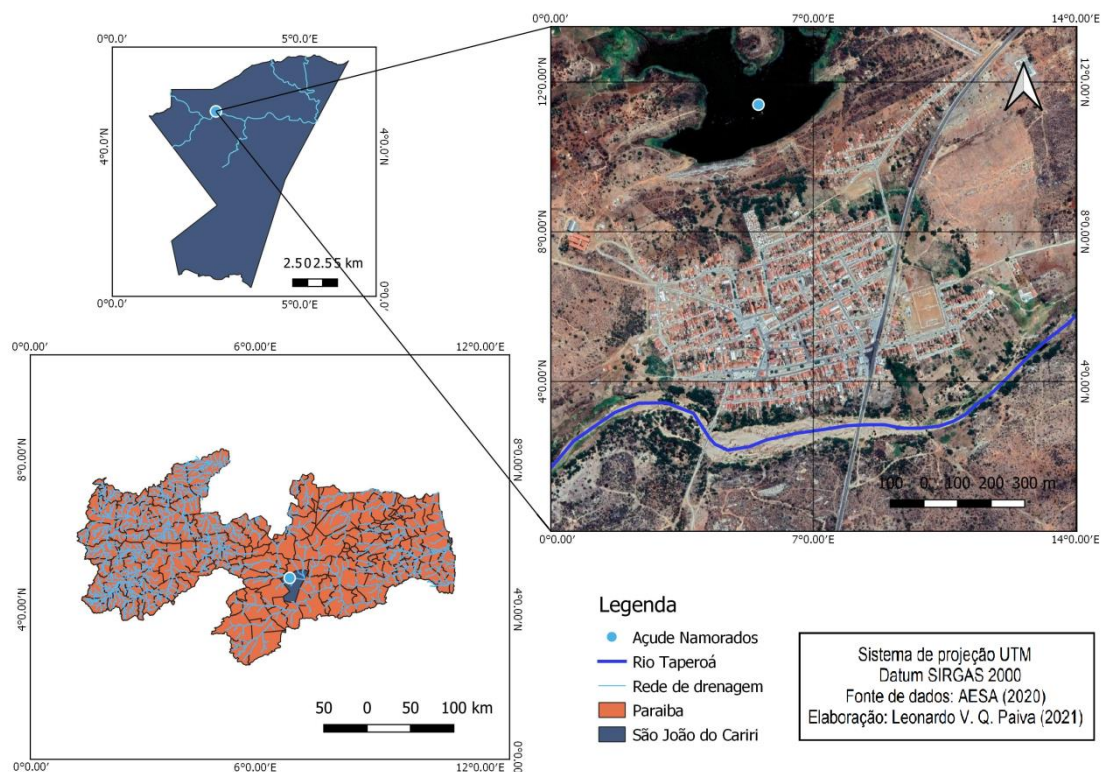


A área urbana do município está localizada na sub-bacia hidrográfica do Rio Taperoá, pertencente a bacia hidrográfica do rio Paraíba. Esta ultima

possui cerca de 20 mil km², o que corresponde a 32% da área do estado, sendo assim, a maior e mais importante bacia hidrográfica da Paraíba. O rio Taperoá, por sua vez, é considerado o mais importante afluente dela, com uma área de cerca de 5.700 km² e uma posição que privilegia a gestão dos recursos hídricos do Estado. No encontro do rio Taperoá com o rio Paraíba foi construída a barragem que forma o Açude Presidente Epitácio Pessoa, também conhecido por Açude Boqueirão, sendo esse responsável por abastecer a maior região metropolitana do interior do Nordeste, a região de Campina Grande (XAVIER *et al.*, 2012).

A cidade de São João do Cariri é margeada diretamente pelo rio Taperoá, que é de regime intermitente e está localizado numa área de relevo ondulado suave, altitude variando entre 400 e 600 metros, não ultrapassando os 450 metros nas áreas próximas a cidade (Figura 20). De acordo com Francisco (2010), a precipitação média anual é inferior a 400 mm (Gráfico 1). Diante deste déficit em recursos hídricos, a cidade conta como principal reservatório o Açude dos Namorados (Figura 13), que de acordo com a AESA (2020), tem capacidade de 2.118.980,00 m³.

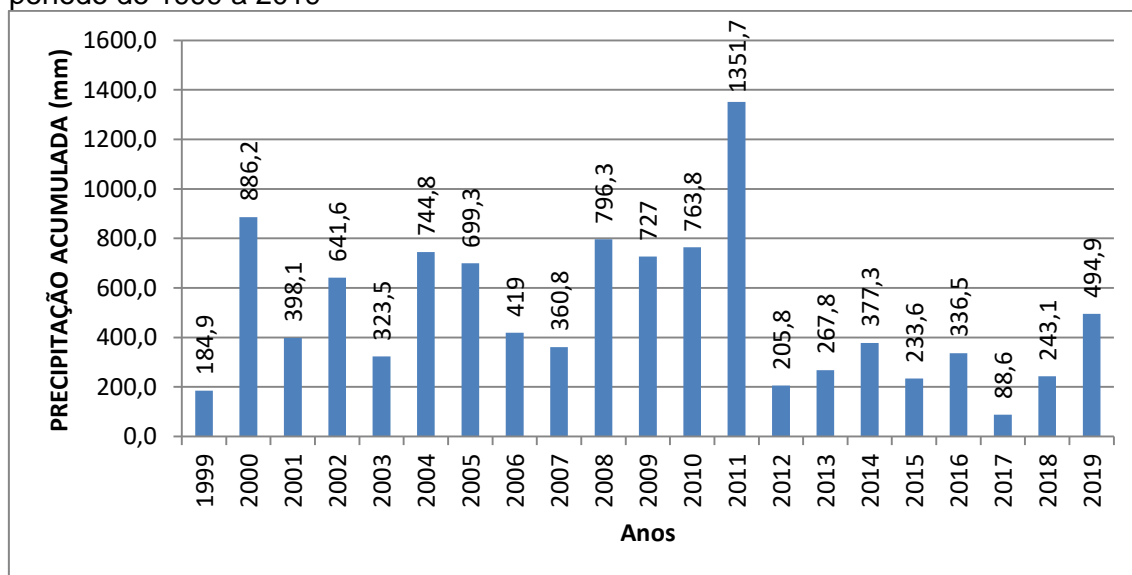
Figura 13 - Localização da rede de drenagem do rio Taperoá próxima a cidade de São João do Cariri



De acordo com a classificação de Köppen, o clima na sub-bacia hidrográfica do rio Taperoá é considerado do tipo BSh - semiárido quente, com precipitação pluvial média anual varia de 400 a 600 mm e dispõe de uma estação seca que varia entre 8 e 10 meses. A vegetação predominante é do tipo Caatinga Hiperxerófila, constituída por árvores de baixo e médio porte, estabelecidas em solos rasos, de forma espaçada e com a característica de perder as folhas na época de estiagem (caducifólias).

Observando especificamente as chuvas do município, nos últimos 20 anos, tem-se uma precipitação acumulada anual média de 502,1 mm. Percebe-se também alguns anos com um volume de chuva mais expressivo, como é o caso do ano de 2011 (Gráfico 1).

Gráfico 1 - Precipitação acumulada anual do município de São João do Cariri – PB no período de 1999 a 2019



Fonte: Elaborado pelo autor; baseado em AESA (2019).

3.2 Estimativa dos volumes potenciais de captação

O passo inicial para a estimativa dos volumes potenciais de captação foi a observação do regime pluvial por meio da análise estatística descritiva. Para realizar a mesma, foram necessários os dados de precipitação pluvial, os quais são disponibilizados pela Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba (AESA). A série pluviométrica foi ordenada obedecendo a sequência cronológica mensal (soma dos valores diários) e anual (soma dos totais mensais).

Em seguida, com base em critérios estatísticos, foram estabelecidas as medidas de tendência central (média e mediana) e de dispersão (amplitude e desvio padrão). De posse dos valores anuais de chuva e adotando valores para áreas de captação (AC), foram estimados os volumes potenciais de captação de água de chuva (VPC, em m³), conforme a equação 1, abaixo. Para cada área foram estabelecidos os VPC's, de acordo com quatro cenários de chuva: média, mediana, ano mais chuvoso e ano mais seco.

$$VPC = \text{chuva (mm)} \times AC \text{ (m}^2\text{)} \times C_e \quad (1)$$

Onde: C_e = coeficiente de escoamento (adimensional).

O coeficiente de escoamento superficial (C_e) foi adotado de acordo com a média do coeficiente de *runnof*, para diversos tipos de superfície e áreas ocupadas de maneiras distintas, como pode ser visto nos Quadros 3 e 4 a seguir.

Quadro 3 - Valores médios dos coeficientes de runnof

Tipo de superfície	Coeficiente de runoff C	Tipo de superfície	Coeficiente de runoff C
Pavimento asfáltico	0,95	Gramado plano entre 0 a 1% de decl.	0,25
Pavimento concreto	0,95	Gramado médio entre 1% a 3% de decl.	0,35
Pavimento de tijolos	0,85	Gramado alto entre 3% a 10% de decl.	0,40
Pavimento de pedras	0,75	Gramado muito alto >10% de decl.	0,45
Telhado linha de base	0,95	Vegetação plana (0 a 1% de decl.	0,10
Telhado verde < 10cm	0,50	Vegetação média (0 a 1% de decl.	0,20
Telhado verde entre 10cm e 20cm	0,30	Vegetação alta (0 a 1% de decl.	0,25
Telhado verde entre 20cm e 50cm	0,20	Vegetação muito alta (0 a 1% de decl.	0,30
Telhado verde > 50cm	0,10		

Fonte: Extraído de LEED existing buildings, 2009.

Quadro 4 - Valores de coeficiente de runnof para diferentes áreas

Característica da superfície	C
Área Comercial	
-Central	0,70 a 0,95
-Bairros	0,50 a 0,70
Área Residencial	
-Residências Isoladas	0,30 a 0,50
-Unidades Múltiplas (Separadas)	0,40 a 0,60
-Unidades Múltiplas (Conjugadas)	0,60 a 0,75
-Subúrbio	0,25 a 0,40
-Área com prédios de apartamentos	0,50 a 0,70
Área Industrial	
-Indústrias leves	0,50 a 0,80
-Indústrias pesadas	0,60 a 0,90
Parques, Cemitérios	0,10 a 0,25
"Playground"	0,20 a 0,35
Pátios de estradas de ferro	0,20 a 0,40
Áreas sem melhoramentos	0,10 a 0,30

Fonte: Extraído de ASCE/WEF (CHOW, 1962).

Foram calculados por meio das Equações 2 e 3, respectivamente, o volume de água necessária (VNEC, em L) e a consequente área de captação necessária (ACN, em m²) para acúmulo de tal volume.

$$VNEC (L) = n \times Cc \times p \quad (2)$$

Sendo: n = número total de pessoas a serem atendidas (unid.);

Cc = consumo *per capita* diário (em L);

p = período sem chuva (dias).

$$ACN = \frac{VNEC}{Ce \times P} \quad (3)$$

Sendo: P = Precipitação pluvial anual para cada cenário de chuva (mm);

Ce= coeficiente de escoamento (adimensional).

Destacamos que o consumo *per capita* (Cc) é um parâmetro complexo de se definir e influenciado por diversos fatores. Dentre esses, destacam von Sperling e CETESB (apud NETO, 2004, p.101): nível socioeconômico da população, grau de industrialização, clima, porte e topografia da cidade, valor de tarifa cobrada sobre o uso, existência de rede coletora de esgotos, administração do sistema de abastecimento de água, entre outros.

De acordo com o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), foi de 145,1 L/(hab.dia) o consumo médio *per capita* de água em 2006, com índice total de perdas de 39,8%, o que superou o consumo em 2003, igual a 142,6 L/(hab.dia). Esse valor é uma relação entre os volumes produzidos e medidos e a média da população atendida (GONÇALVES *et al*, 2006). O Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgoto de 2014, também elaborado pelo SNIS, nos fornece o valor de consumo médio nacional de 162 L/(hab.dia), o que representa um aumento de 11,6% no consumo médio nacional de 2006 a 2014.

O Nordeste brasileiro detém o menor valor de consumo médio *per capita* do país com 118,9 L/(hab.dia), estando a Paraíba com o consumo de 125,2 L/(hab.dia), o que representa uma diminuição de 8,4% do consumo médio dos três anos anteriores (2011, 2012, 2013) para o mesmo estado (SNIS,2016). No entanto, é notório que esse valor médio não representa a realidade do semiárido paraibano, sendo indicado por Silva *et al*. (1984) o consumo de 14

litros por dia, e por Silans (2002) o valor de 20 litros por dia, como sendo consumos mais próximos da realidade da região, para atender as necessidades básicas. Com relação ao consumo diário referente a prédios ligados ao serviço público, industrial e doméstico, tem-se a estimativa de consumo diário estabelecida pela NBR-5626, a qual está disposta no Quadro 5.

Quadro 5 - Estimativa de consumo diário de água

Tipo de prédio	Unidade	Consumo L/dia
<i>1. Serviço doméstico</i>		
Apartamentos	Per capita	200
Apartamentos de luxo	Por dormitório	300 a 400
	Por quarto de empregada	200
Residência de luxo	Per capita	300 a 400
Residência de médio valor	Per capita	150
Residências populares	Per capita	120 a 150
Apartamento de zelador		600 a 1000
<i>2. Serviço público</i>		
Edifícios de escritórios	Por ocupante efetivo	50 a 80
Escolas, internatos	Per capita	150
Escolas, externatos	Por aluno	50
Escolas, semi-internato	Por aluno	100
Hospitais e casas de saúde	Por leito	250
Hotéis com cozinha e lavanderia	Por hóspede	250 a 350
Hotéis sem cozinha e lavanderia	Por hóspede	120
Lavanderias	Por kg de roupa seca	30
Quartéis	Por soldado	150
Cavalariças	Por cavalo	100
Restaurantes	Por refeição	25
Mercados	Por m ² de área	5
Garagens e postos de serviços para automóveis	Por automóvel	100
	Por caminhão	150
Rega de jardins	Por m ² de área	1,5
Cinemas, teatros	Por lugar	2
Igrejas	Por lugar	2
Ambulatórios	Per capita	25
Creches	Per capita	50
<i>3. Serviço industrial</i>		
Fábricas (uso pessoal)	Por operário	70 a 80
Fábricas com restaurante	Por operário	100
Usinas de leite	Por litro de leite	5
Matadouros	Por animal abatido (de grande porte)	300
	Por animal abatido (de pequeno porte)	150

Fonte: Tomaz, Plínio (2000).

Os volumes de água e as áreas de captação necessárias serão calculados para diversos possíveis usos que poderão ser dados ao recurso, assim como para mais de um valor de consumo.

Além disso, como mencionado anteriormente, foi feito o estudo do fluxo de escoamento da água das chuvas na cidade, para propor pontos estratégicos de armazenamento desse recurso. Para isto, foram utilizados os *softwares* Global Mapper 20 e o Qgis, para gerar as curvas de nível e o mapa hipsométrico da localidade, além da observação de imagens de satélite e

imagens das ruas da cidade, por meio do Google Earth Pro e da ferramenta Street View.

3.3 Aplicação do Modelo HAND

Com o propósito de identificar os locais com maior potencial de acúmulo de água das chuvas próximos a área urbana de São João do Cariri, foi utilizado o modelo descritor do terreno *Height Above the Nearest Drainage* (HAND), desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Originalmente o modelo HAND é utilizado para obtenção da mancha de inundação de uma localidade, o que pode coincidir com os locais mais favoráveis à instalação de cisternas para armazenamento desse recurso.

Para a aplicação do modelo HAND, foi utilizado o *plugin* TerraHidro, que é integrado ao *software* livre TerraView 4.2.2, também desenvolvido pelo INPE, e que dispõe de uma versão do HAND implementada na ferramenta “*Hydrological Tools*”. O TerraHidro permite que a partir de Modelos Digitais de Elevação consiga-se simular situações ambientais relacionadas aos recursos hídricos. Dentre suas funcionalidades estão (INPE, 2020):

- Extração de redes de drenagens;
- Delimitação de áreas de contribuição para pontos isolados e segmentos de drenagem;
- Determinação de drenagens em escalas menores, a partir da drenagem obtida de dados em escalas maiores;
- Delimitação de níveis de lençóis freáticos e áreas com potencial de inundação.

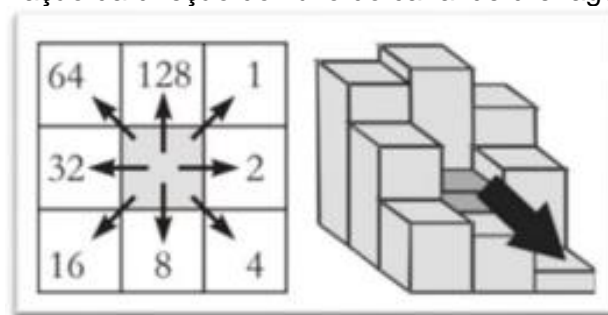
Já como dado de entrada, foi utilizado o Modelo Digital de Elevação (MDE), oriundo das imagens do satélite ALOS PALSAR, lançado pela Agência de Exploração Aeroespacial Japonesa (JAXA), no dia 24 de janeiro de 2005, do centro espacial de Tanegashima (Japão). A tecnologia incorporada ao satélite lhe conferia alta velocidade e capacidade de tratamento de dados e uma precisão avançada na determinação de seu posicionamento espacial. As imagens obtidas têm resoluções espaciais que variavam entre 10 e 100 metros e sua operação foi concluída em 12 de maio de 2011 (ASF, 2020).

O sistema desenvolvido para a missão tinha como objetivo impulsionar as pesquisas científicas na área de sensoriamento remoto, oferecendo dados cartográficos que fomentassem pesquisas ligadas à prevenção de desastres

relacionados com fenômenos naturais e ao desenvolvimento sustentável (ASF, 2020). O MDE utilizado neste trabalho tem resolução espacial de 12,5 m por 12,5 m e foi obtido a partir de imagens ALOS PALSAR, feitas no ano de 2010. Com o uso do *software* QGIS 3.10, a imagem passou por alguns pré-processamentos e a área de estudo foi delimitada para posterior uso do modelo HAND. Utilizando o QGIS também foram gerados alguns mapas contendo informações como hipsometria, curvas de nível, rede de drenagem, localização geográfica da área de estudo e o mapa gerado pelo modelo HAND, sobrepondo a imagem de satélite da área estudada.

Após importar o Modelo Digital de Elevação para o TerraView, o primeiro passo foi de determinar o fluxo de drenagem da área de estudo e realizar a correção do MDE de entrada. A essa matriz de direções do fluxo de drenagem se dá o nome de LDD (*Local Drain Directions*), e para a sua obtenção foi aplicado o método proposto por O'Callaghan, denominado *Deterministic Eight-Neighbors*, ou D8 (Figura 14). No mesmo, o fluxo de escoamento é determinado a partir dos oito pontos vizinhos da matriz, em que o escolhido como sendo a direção correta do fluxo, será o que estiver em uma altitude mais baixa (MARK, 1984; NOBRE *et al.*, 2011; ALVES, 2019). Na prática, o LDD é obtido no *software* utilizando a função *Flow Extraction*, contida no menu *Hydrological Tools*, e tem como único dado de entrada, o MDE.

Figura 14 - Determinação da direção do fluxo do canal de drenagem pelo método D8



Fonte: Buarque (2009).

Em seguida, se obtém a matriz de área de contribuição, utilizando a função *Contributing Area*, que tem como dado de entrada o LDD. Essa matriz é alcançada através do cálculo da área acumulada de cada ponto do LDD.

Dispondo da área de contribuição e adotando um valor de limiar de drenagem, obtém-se a matriz de drenagem. A função utilizada é a *Drainage*

Extraction. O limiar escolhido deve ser inicialmente arbitrário, e posteriormente deve ser ajustado, até que a rede hidrográfica gerada seja semelhante à real (NOBRE *et al.*, 2016). Para este trabalho foram utilizadas bases cartográficas disponibilizadas pela AESA, podendo-se fazer a comparação entre a rede de drenagem local e a gerada pelo TerraView.

Por fim, com a obtenção da matriz da rede de drenagem e utilizando, além dela, o MDE e o LDD como dados de entrada, obtém-se o modelo HAND. Foram estabelecidos na geração da matriz HAND três números de classes, que representam a suscetibilidade a risco de desastre por inundação. A subdivisão adotada foi:

- Suscetibilidade alta: 0 – 1, 0 m
- Suscetibilidade média: 1,1 – 2,0 m
- Suscetibilidade baixa: 2,1 – 3,0 m

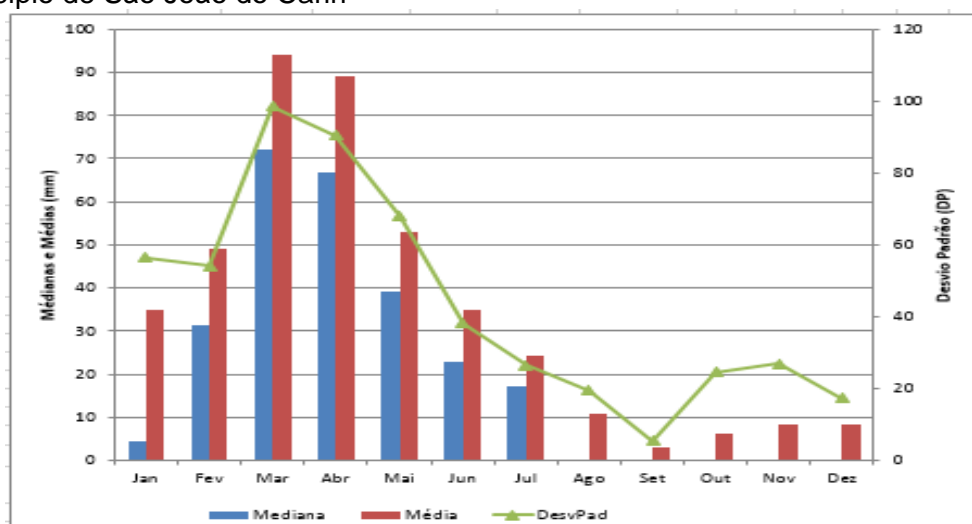
Como mencionado anteriormente, foi utilizado o *software* QGIS, para gerar os produtos finais, entre eles o mapa contendo a sobreposição da matriz HAND na área de estudo e a classificação de suscetibilidade a inundação.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Regime Pluvial de São João do Cariri

No Gráfico 2 estão apresentadas a média, mediana e desvio padrão das precipitações mensais do município. Nota-se uma elevada dispersão, sendo o desvio padrão maior que as médias em pelo menos cinco meses, e as medianas em sete meses. Contudo, isso nos mostra a irregularidade das precipitações mensais para a localidade.

Gráfico 2 - Média, mediana e desvio padrão dsas séries pluviométricas mensais do município de São João do Cariri



Fonte: AESA; elaborado pelo autor.

Ainda com relação à irregularidade das chuvas, verifica-se que além da má distribuição durante os meses do ano, a variabilidade anual atinge uma amplitude significativa (1.227 mm), resultante de um ano mais chuvoso com 1.352 mm e um ano menos chuvoso com 125 mm. Além disso, os valores de média aritmética são maiores que as respectivas medianas. Indicando assim, que o coeficiente de assimetria é positivo. Diante disso, apesar de a média ser a medida de tendência central usualmente utilizada, nesse caso, a mediana é o valor mais provável de ocorrer, o que está em concordância com estudos realizados por Almeida e Oliveira (2009), Silva e Almeida (2009) e Almeida e Gomes (2011), para outras localidades da região geográfica imediata de Campina Grande.

Pode-se ainda observar que apesar da grande variabilidade da distribuição das chuvas entre os anos, há um certo padrão no que diz respeito aos meses mais secos, estando eles entre setembro e dezembro. Enquanto isso, a estação chuvosa se inicia entre os meses de fevereiro-março e termina entre maio-junho, concentrando em torno de 65% do total de chuvas anual (232 mm), sendo março e abril os meses mais chuvosos com 39% (139 mm).

4.2 Volume Potencial de Captação de Água de Chuva para São João do Cariri

Para se trabalhar com a estimativa do volume potencial de captação de água da chuva (VPC), é indispensável à priori estabelecer um regime pluvial mensal e anual, a partir das séries históricas de chuva da localidade em estudo. Os VPC's foram estabelecidos a partir do regime pluvial, do coeficiente de escoamento superficial e da área de captação, que no caso, corresponde às áreas das ruas, vias de escoamento pluvial e praças da cidade. Tais áreas de captação foram definidas com a ajuda do Google Earth Pro e do Global Mapper 20, como pode ser visto na imagem de satélite a seguir (Figura 15).

Portanto, foi proposta a subdivisão da área urbana da cidade em seis áreas de captação, com base na análise do escoamento do recurso pelas ruas da cidade. Para isto, foram levadas em consideração as curvas de nível da cidade e feita a observação do declive de cada rua separadamente, com a ajuda da ferramenta *Street View*, do Google Earth Pro.

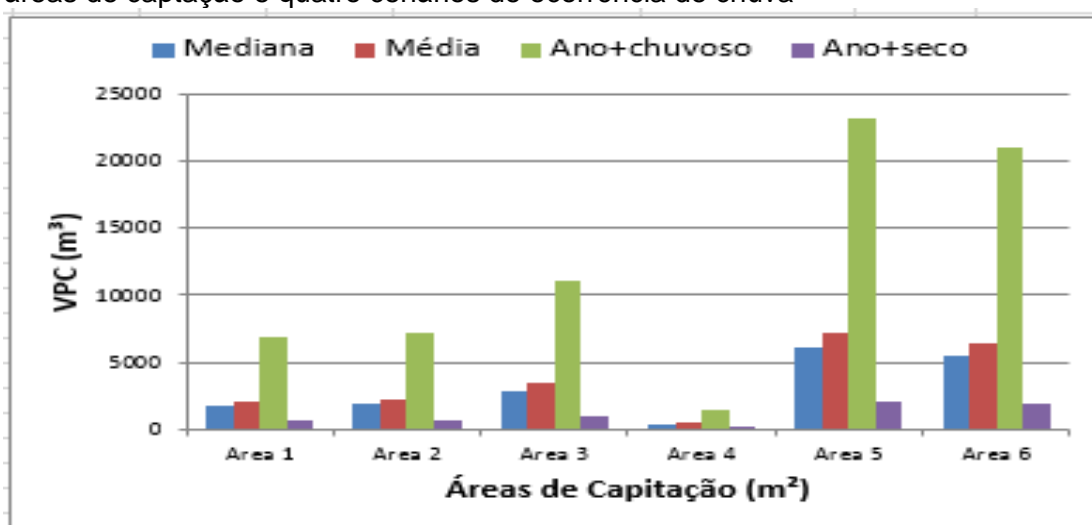
Figura 15 - Áreas de captação de água da chuva em São João do Cariri



Fonte: Google Earth Pro; elaborada pelo autor.

O volume potencial de captação foi estabelecido para cada uma das seis áreas, de acordo com 4 cenários de chuva distintos, como pode ser observado no Gráficos 3. No entanto, como mencionado anteriormente, a mediana representa a realidade da região em que está inserida a cidade com um grau maior de confiabilidade.

Gráfico 3 - Volume potencial de captação de água de chuva (VPC) para as diferentes áreas de captação e quatro cenários de ocorrência de chuva



Fonte: Elaborado pelo autor.

Ao observar a mediana de cada área, verifica-se que foram encontrados valores anuais animadores para os volumes potenciais de captação de água das chuvas, sendo que, a Área 5 dispõe do maior deles (6.098 m³/ano) e a Área 4 do menor (394 m³/ano). Ainda que fosse considerado o ano mais seco, como parâmetro representativo da realidade pluviométrica do município, teríamos para as maiores Áreas, 5 e 6, valores aproximados de 2.140 m³ e 1.950 m³, respectivamente, e um total anual de 6.545 m³, se consideradas todas as seis áreas de captação. Ou seja, um montante de água considerável, o qual poderia ser de grande valia para diversos fins.

Levando em consideração que a maioria das residências do município não dispõe de cisterna, logo, uma parte da água que precipita em seus telhados acaba sendo direcionada para as vias de escoamento pluvial (canaletas), foi feito também o cálculo dos VPC's com a adição das áreas dessas casas como área de captação. Para isso, a cidade foi dividida em quatro polígonos, de acordo com o fluxo de escoamento de água, como pode ser visto na Figura 16 a seguir.

Figura 16 - Áreas de captação de água da chuva em São João do Cariri

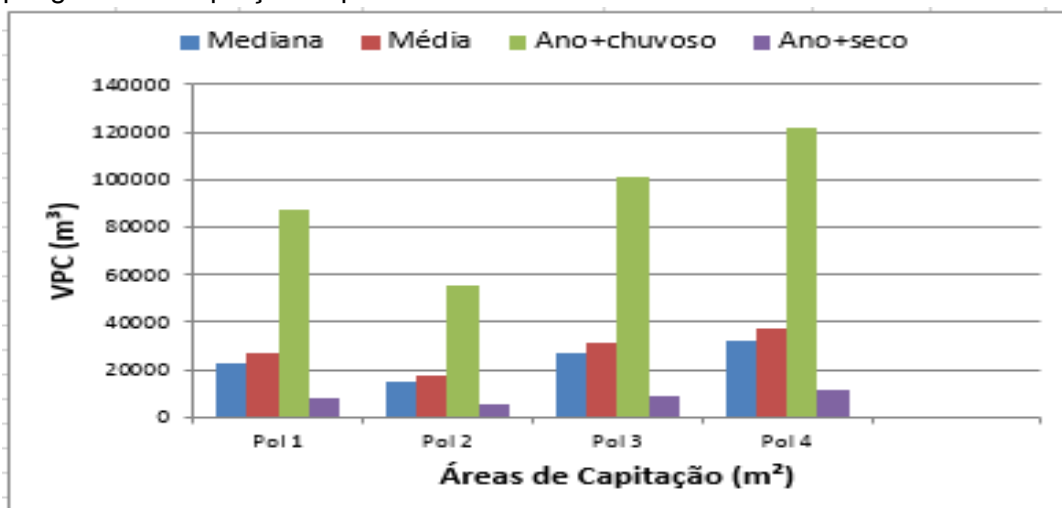


Fonte: Google Earth Pro, elaborada pelo autor.

Para esse panorama, como é de se esperar, foram encontrados valores bem mais altos que para a primeira hipótese, no que diz respeito a esse potencial de captação de água das chuvas. Dessa forma, utilizando a mediana

das séries de precipitação, foram observados valores anuais aproximados de 22.945 m³, 14.670 m³, 25.700 m³, 32.163 m³, para os polígonos 1, 2, 3 e 4, respectivamente. Caso fossem utilizadas as médias, como sendo os valores mais próximos da realidade da localidade, como acontece em outras regiões, esses números seriam ainda maiores, como pode ser observado no Gráfico 4.

Gráfico 4 - Volume potencial de captação de água de chuva (VPC) para diferentes polígonos de captação e quatro cenários de ocorrência de chuva



Fonte: Elaborado pelo autor.

4.3 Áreas e volumes necessários de captação de água das chuvas para São João do Cariri

O VNEC está diretamente relacionado ao número de usuários, ao período de estiagem e ao consumo *per capita*, enquanto que a ACN varia com o volume necessário e o regime pluvial do local. Considera-se de extrema importância mensurar o volume necessário de água, para que seja desenvolvida uma estratégia de aproveitamento de todo o potencial de captação hídrica da cidade, com a função de sanar eficientemente parte da demanda desse recurso.

A água captada pode ser utilizada para atividades de âmbito público, como manutenção de áreas verdes, parques e cemitérios, sistemas decorativos e recreativos (fontes, espelhos d'água, chafarizes), limpeza da cidade e de prédios públicos (escolas, presídio, prefeitura, igrejas, teatros, câmara municipal), reserva de incêndio, construção civil (compactação do solo, controle de poeira, lavagem de agregados, produção de concreto), limpeza de

tubulações, torres de resfriamento, entre outros, além de garantir uma reserva de água para períodos de extrema escassez do recurso. Para este trabalho, foram obtidos apenas os dados de escolas e creches da cidade de São João do Cariri, como fica demonstrado no Quadro 6.

Quadro 6 - Relação das escolas públicas e creches do município de São João do Cariri

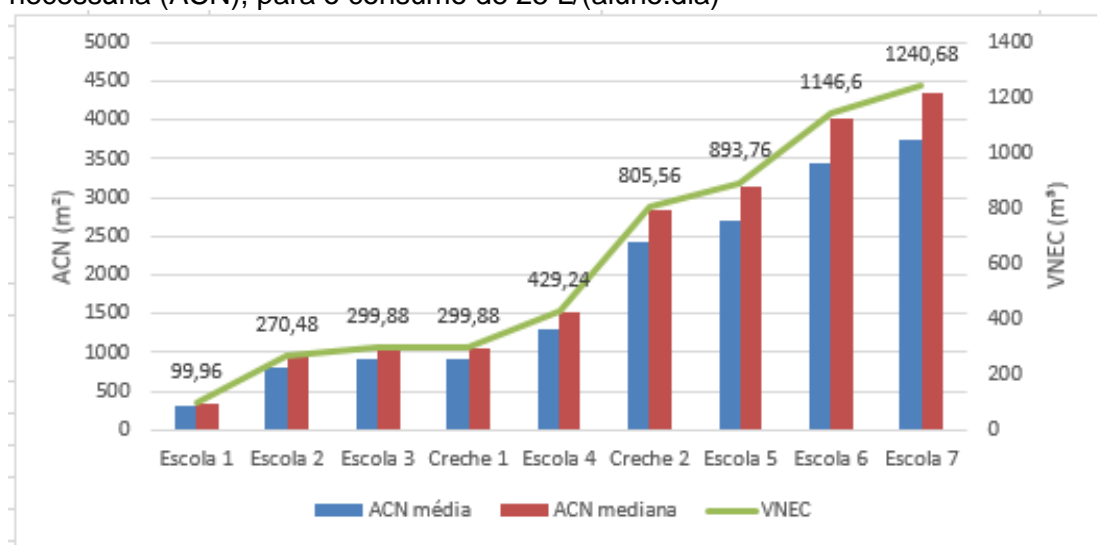
Escolas	Quantidade de alunos
E.M.E.I.E.F. Hilda Maria de Sousa Brito (Escola 1)	17
E.M.E.I.E.F. Constantino de Farias Castro (Escola 2)	46
E.M.E.I.E.F. Etelvina Maria Batista (Escola 3)	51
Creche Rosangela de Fátima Medeiros (Creche 1)	51
E.E.E.F. Severino Medeiros Ramos (Escola 4)	73
Creche Nossa Senhora dos Milagres (Creche 2)	137
E.M.E.I.E.F. Nossa Senhora dos Milagres (Escola 5)	152
Escola Dep. Tertuliano Brito (Escola 6)	195
E.M.E.I.E.F. José Leal Ramos (Escola 7)	211

E.M.E.I.E.F. = Escola Municipal de Educação Infantil e Ensino Fundamental; E.E.E.F = Escola Estadual de Ensino Fundamental

Fonte: Elaborado pelo autor, baseado no Censo Escolar (2019).

Nos Gráficos 5, 6, 7 e 8 está explicitada a relação entre o volume de captação de água necessária (VNEC) e a área de captação necessária (ACN) para sete escolas e duas creches da cidade, cada uma delas com diferentes quantidades de alunos matriculados de acordo com o Censo Escolar de 2019. Além disso, cada gráfico é referente a um consumo *per capita* diferente e as áreas necessárias estão expressas para dois cenários de chuva distintos (mediana e média).

Gráfico 5 - Relação entre o volume de água necessário (VNEC) e a área de captação necessária (ACN), para o consumo de 25 L/(aluno.dia)



Fonte: Elaborado pelo autor.

Pode-se observar que as médias referentes as ACN's, são inferiores as medianas para todas as quantidades alunos por escola. Isso indica um possível subdimensionamento, caso não se desconsidere a importância de utilizar a medida de tendência central mais adequada para a região (mediana). Verifica-se para a E.E.E.F. Severino Medeiros Ramos (Escola 4), com 73 alunos matriculados, a necessidade de uma ACN aproximada de 1507 m² para um regime de chuvas baseado na mediana, e de 1290 m² para a média, o que resulta em um subdimensionamento de 217 m².

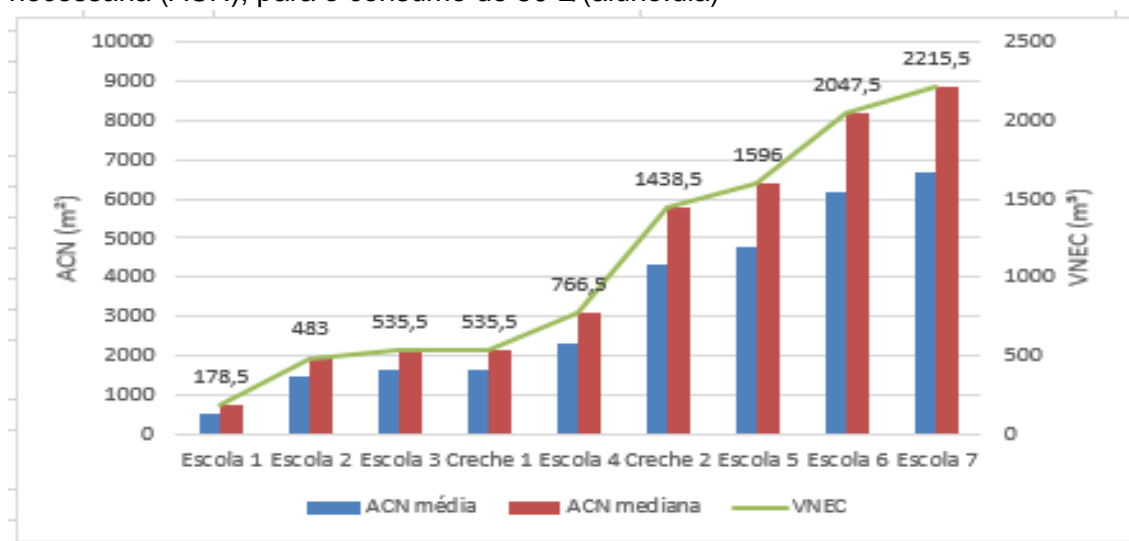
Observa-se que o VNEC e em consequência a ACN para captar esse volume, crescem à medida que aumenta a quantidade de estudantes por escola. O aumento é esperado, já que quanto maior a quantidade de alunos na escola, maior será o volume de água consumido. Tem-se o valor de 99,9 m³ para o VNEC na escola com a menor quantidade de alunos (17 alunos) e de 1240,7 m³ para a que dispõe da maior quantidade de alunos matriculados (211 alunos).

Os valores levantados apontam a importância de dimensionar as cisternas de acordo com a realidade da localidade, no que diz respeito ao regime pluvial, a quantidade de pessoas a serem atendidas, ao consumo *per capita*, entre outros possíveis fatores intervenientes. Considerando uma média de 100 alunos para as escolas da região, e o consumo de 50 L/(hab.dia),

chegamos ao volume aproximado de 1050 m³ de água, para atender a realidade da escola.

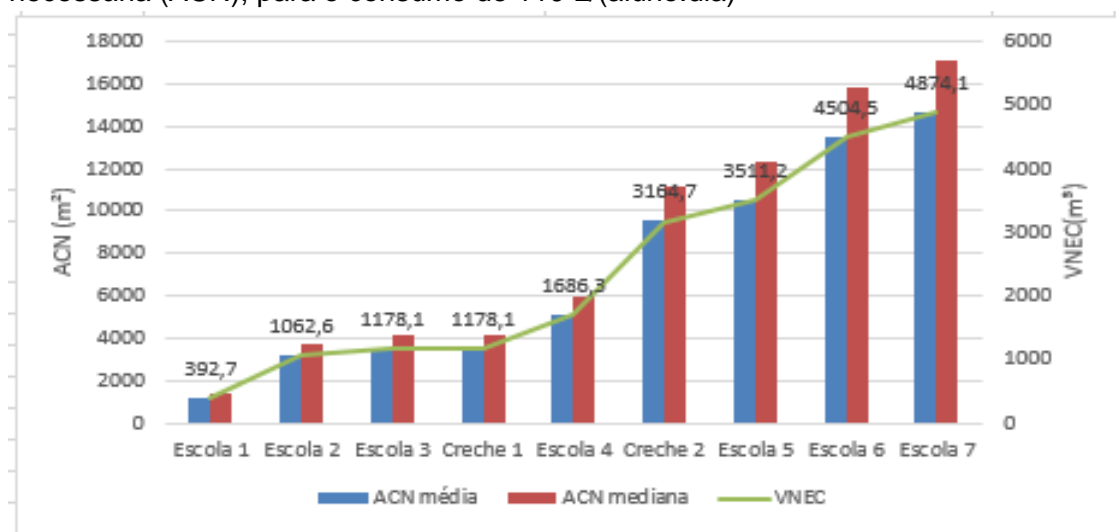
Os Gráficos 6,7 e 8 têm o mesmo comportamento analisado no gráfico 5, no entanto, com valores de VNEC e ACN superiores, já que nesses gráficos estão sendo trabalhados consumos *per capita* maiores (50, 110 e 200 L/(aluno.dia)), sendo o valor de 50 L/(aluno.dia) indicado como o mais próximo da realidade, de acordo com mais de um estudo relacionado ao consumo de água em instalações prediais públicas.

Gráfico 6 - Relação entre o volume de água necessário (VNEC) e a área de captação necessária (ACN), para o consumo de 50 L/(aluno.dia)



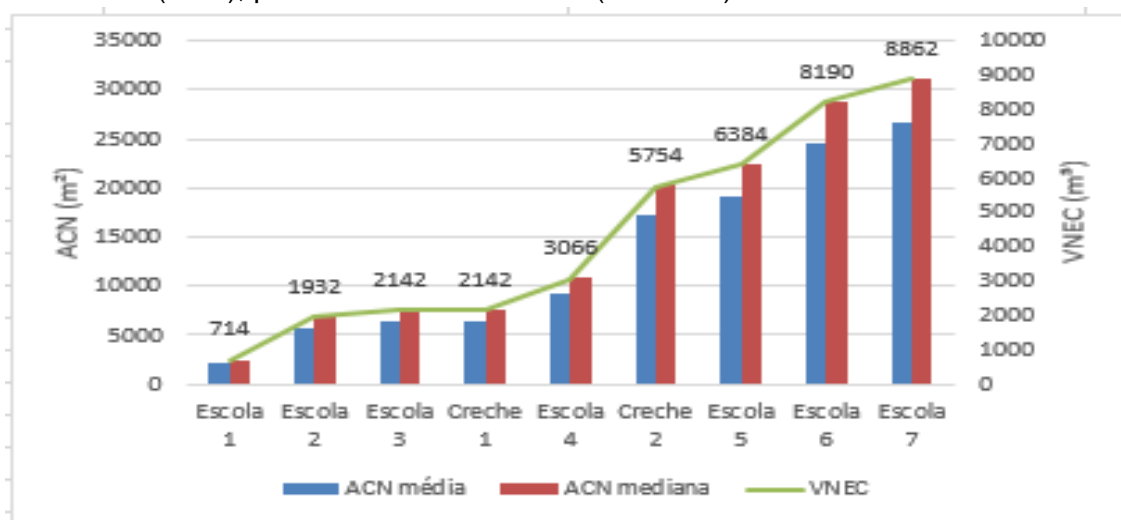
Fonte: Elaborado pelo autor.

Gráfico 7 - Relação entre o volume de água necessário (VNEC) e a área de captação necessária (ACN), para o consumo de 110 L/(aluno.dia)



Fonte: Elaborado pelo autor.

Gráfico 8 - Relação entre o volume de água necessário (VNEC) e a área de captação necessária (ACN), para o consumo de 200 L/(aluno.dia)



Fonte: Elaborado pelo autor.

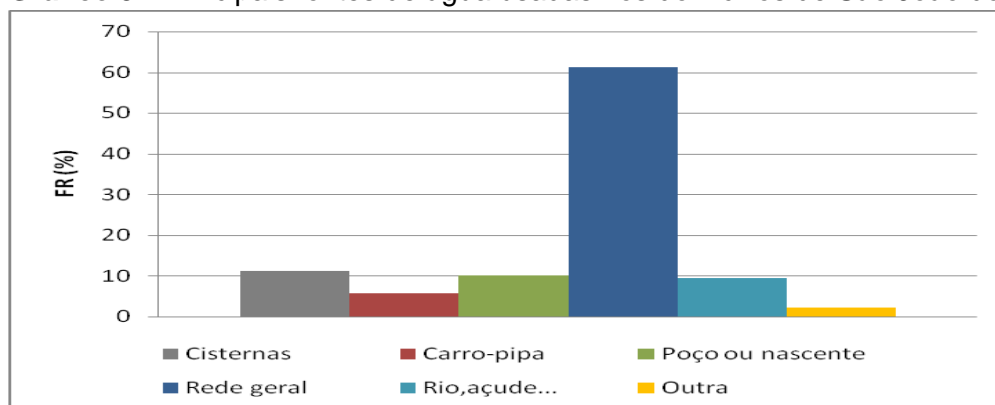
Os demais valores adotados, são extrapolações, considerando a possibilidade de maior consumo de água, como é o caso de escolas que optam, pelo cultivo de hortaliças para a produção de alimento. Para esses casos, se destaca a possibilidade de aumentar o volume disponível desse recurso, utilizando os telhados das escolas, assim como quadras poliesportivas, e áreas abertas, que sejam adequadas para captação de água das chuvas.

Nota-se, ao observar os valores encontrados para a escola 7, a qual dispõe da maior quantidade de alunos, que existem ACN's de 4.357 m², 8.892 m², 17.117 m² e 31.121 m², para os consumos de 25, 50, 110 e 200 L/(aluno.dia), respectivamente. Tais áreas são necessárias para garantir os VNEC's de 1.241 m³, 2.216 m³, 4.874 m³ e 8.862 m³. Considerando como meio de captação apenas as ruas calçadas da cidade, teríamos uma área disponível de aproximadamente 61.697 m², o que supriria qualquer uma das áreas necessárias, para os quatro valores de consumo adotados.

Por outro lado, ao analisar a área de captação necessária, apenas para o consumo de 50 L/(aluno.dia), tem-se para os nove estabelecimentos de ensino, uma área de captação necessária e um volume de água necessário de 39,317 m² e 9.797 m³, respectivamente. Logo, verifica-se que com a área de captação atualmente disponível, é possível suprir a demanda das escolas, e ainda destinar outra parte do recurso para outros fins.

As porcentagens das principais fontes de abastecimento de água da cidade de São João do Cariri estão apresentadas no Gráfico 9. Constata-se que o recurso provém principalmente do sistema adutor da CAGEPA, com 61,2%, seguido pelas cisternas domiciliares, com 11,2%.

Gráfico 9 - Principais fontes de água usadas nos domicílios de São João do Cariri, PB



Fonte: Elaborado pelo autor, baseado nos dados extraídos do IBGE (2010).

Logo, isso demonstra que o sistema adutor abastece a grande maioria da população do município, sendo complementado pelas demais fontes de suprimento de água. Apesar das cisternas estarem como a segunda principal fonte, a sua quase totalidade está localizada na zona rural, portanto não apresenta importância para a zona urbana do município, como é a regra para todo o semiárido brasileiro.

Destaca-se, entretanto, que o regime pluviométrico do semiárido brasileiro impossibilita que as cisternas supram toda a necessidade de uma localidade. Portanto, deve ser vista como uma alternativa de baixo custo, que em paralelo com outras fontes, pode garantir sustentabilidade hídrica para a população.

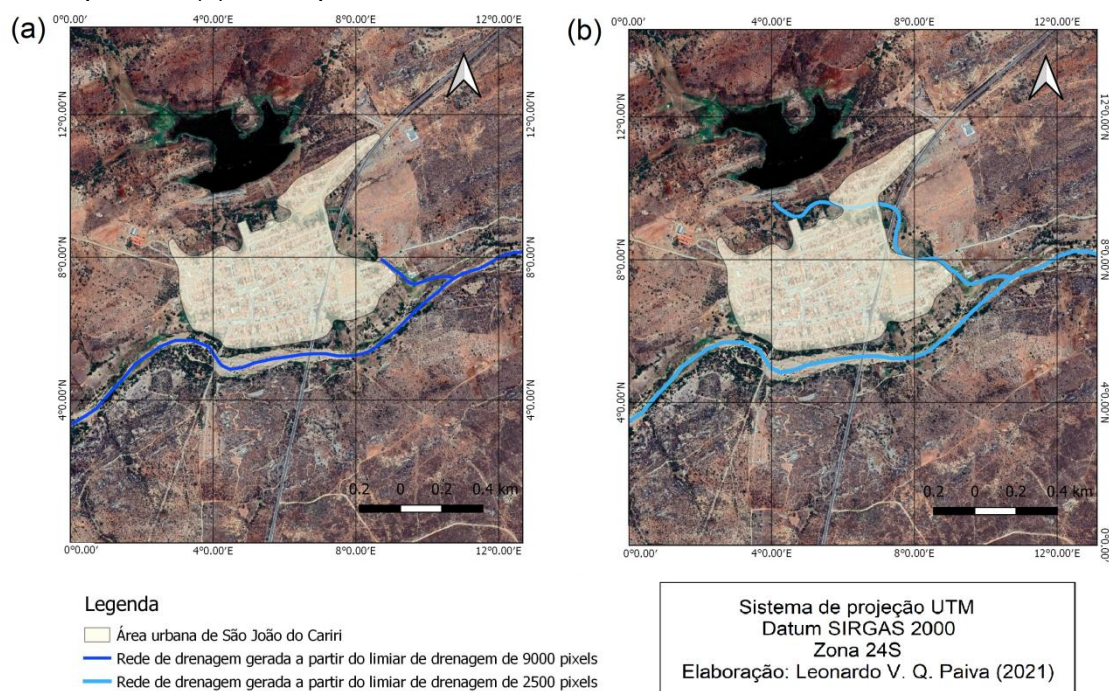
4.4 Modelo HAND

Como mencionado anteriormente, o modelo HAND foi utilizado neste trabalho, com um objetivo diferente dos que usualmente é empregado em trabalhos científicos. Geralmente o modelo é utilizado para a avaliação de áreas propensas a risco de desastre por inundação, enquanto que, no nosso caso, foi utilizado na tentativa de contribuir para a solução de um problema antagônico a este, que seria a escassez de água.

Observou-se que as áreas que seriam propensas à inundação na cidade, caso houvesse essa condição de extrema abundância de chuvas, coincidem com aquelas que teriam melhor potencial de armazenando de água, já que naturalmente essa se acumula nesses locais. Sendo assim, a aplicação de métodos adequados de armazenamento deste recurso, tanto evitariam situações de risco de desastre por inundação em determinado momento, como em outro, amenizariam os impactos da escassez de água, o que é mais recorrente.

No processamento da mancha de inundação HAND, mais precisamente na geração da matriz de rede de drenagem, foram adotados dois valores de limiar de drenagem, de 9.000 *pixels* e de 2.500 *pixels*. Isso significa que foi considerado que a drenagem apenas se iniciaria, a partir de uma contribuição superior a 9.000 *pixels* e 2.500 *pixels* na matriz de área (Figura 17). Quanto menor é o limiar de drenagem adotado, menor é o número de células consideradas, e em contrapartida, maior é a densidade da rede de drenagem (O'CALLAGHAN; MARK, 1984; MOMO *et al.*, 2016).

Figura 17 - Redes de drenagem obtidas a partir dos limiares de drenagem de (a) 9.000 pixels e (b) 2.500 pixels



O primeiro valor foi escolhido (9.000 *pixels*), em virtude de ser o limiar de drenagem que gerou uma rede de drenagem mais próxima da rede real. Como

mentionado anteriormente, foi utilizada como referência de rede de drenagem real, a rede disponível nas bases cartográficas da AESA. Adotando o valor de 2.500 *pixels* para o limiar de drenagem, foi gerada uma rede de drenagem extremamente densa. Apesar de esta não condizer com a rede de drenagem existente, considerou-se ser uma extrapolação útil, no sentido de que a simulação foi capaz de apontar outros pontos da cidade para onde a água tende a escoar como destino final.

Os valores dos limiares de drenagem adotados não foram muitos elevados quando comparados a de outros trabalhos, possivelmente em virtude da pequena extensão da rede de drenagem e da resolução do MDE utilizado. Quando se trabalha com aeronave remotamente pilotada (ARP), obtêm-se imagens com alta resolução espacial. No caso deste trabalho, não houve a possibilidade de utilização de ARP, o que não comprometeu os objetivos que se teve intuito de alcançar.

O limiar de drenagem adotado de 9.000 *pixels* foi o que mais se aproximou da rede de drenagem real. No entanto, ele gerou um trecho que não foi verificado na rede de drenagem de referência. Ainda assim, o mesmo foi escolhido pelo fato de, ao aumentar acima disso o valor de iniciação da drenagem, trechos do rio principal deixavam de ser representados, retratando ainda menos a realidade.

Foram estabelecidos na geração da matriz HAND (Figura 18 e 19), três números de classes, que representam uma suscetibilidade alta, média ou baixa para inundação. Classificadas como alta suscetibilidade estão as áreas com cota 0 em relação ao canal de drenagem, na média estão as áreas com cotas entre 1 e 2 m e na baixa entre 2 e 3 metros. A identificação das áreas suscetíveis à inundação é importante na prevenção, preparação e mitigação do risco de desastres dessa natureza, para a área urbana do município de São João do Cariri. Além disso, para este trabalho é relevante conhecer bem a mancha de inundação, no intuito de apontar locais que tenham um bom potencial de armazenamento de água. Ao mesmo tempo, tomar as medidas cabíveis para que as estruturas utilizadas para este armazenamento não sofram danos em momentos de chuvas extremas. Portanto, a escolha de um local com um baixo risco de desastre por inundação é um dos fatores a ser levado em consideração.

Figura 18 - Mancha de inundação do modelo HAND, utilizando o limiar de drenagem de 9.000 pixels

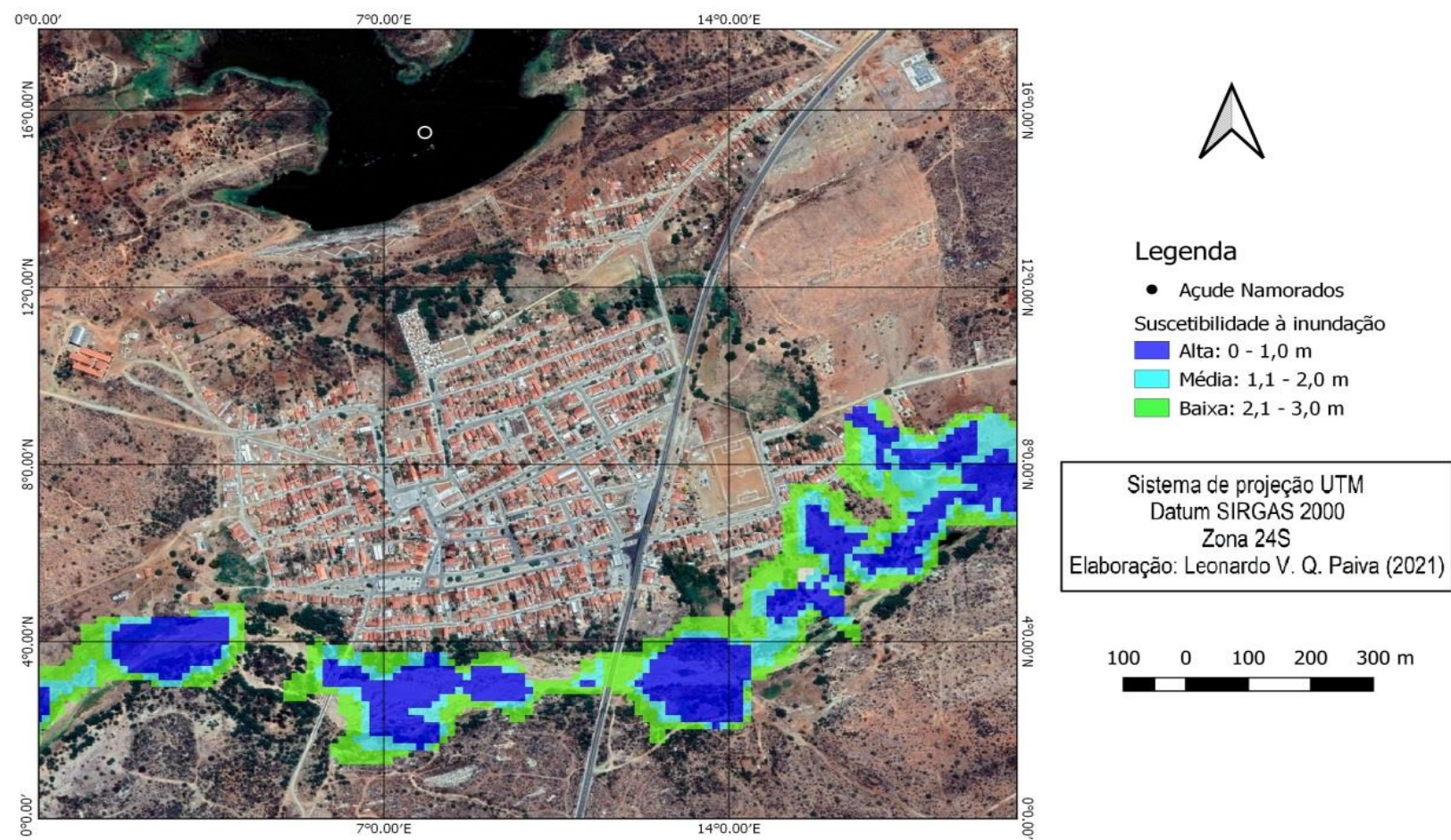
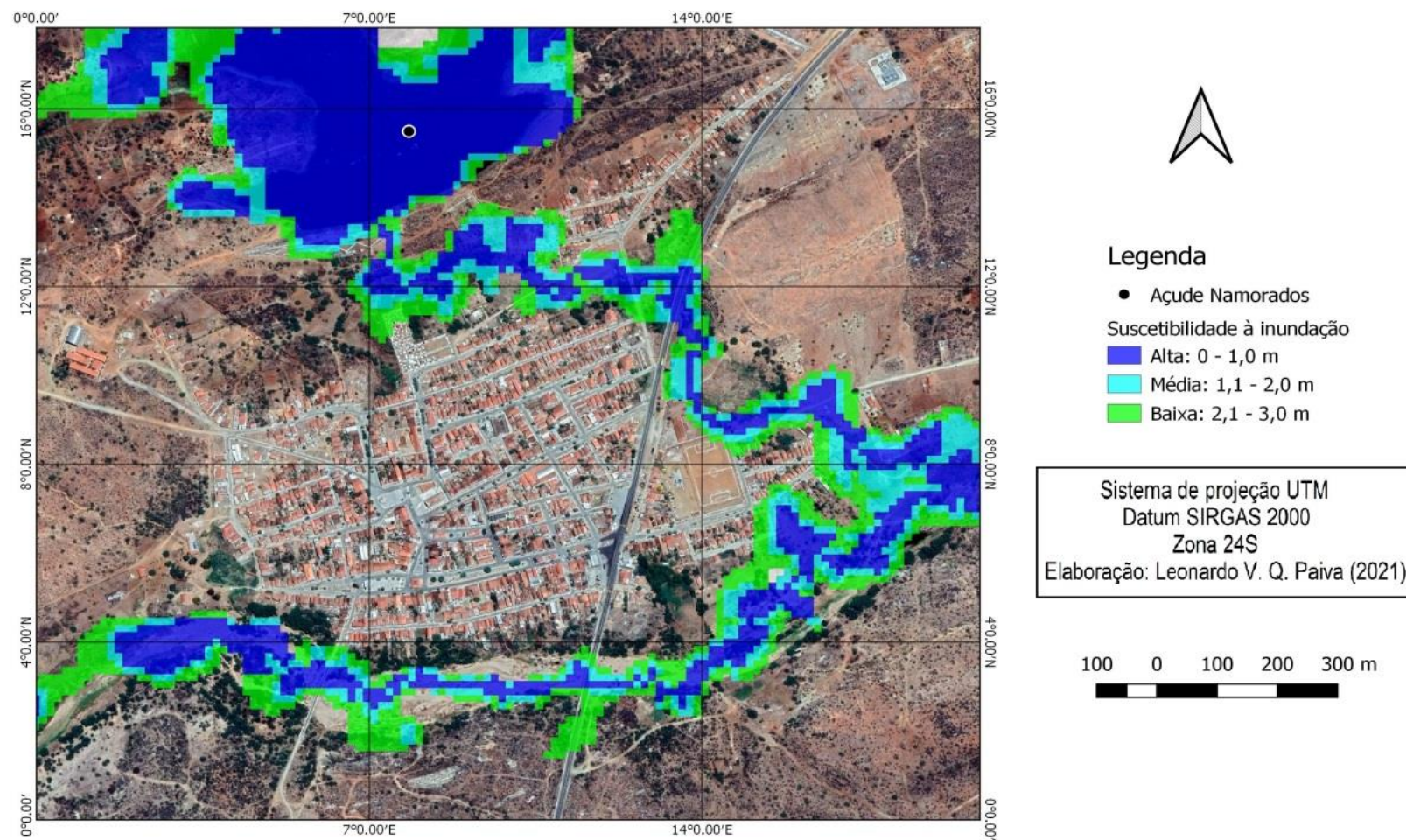


Figura 19 - Mancha de inundação do modelo HAND, utilizando o limiar de drenagem de 2.500 pixels



4.5 Proposta de locais para armazenamento de água das chuvas

O mapa hipsométrico da área de estudo (Figura 20) é outra ferramenta auxiliar que pode fornecer informações valiosas para o trabalho. Por exemplo, pode dar o indicativo do fluxo das águas das chuvas, desde o interior da cidade até os locais de acumulo final. Observando a área cinza na Figura 20, que corresponde à zona urbana do município, verifica-se que a parte central dela é a porção onde há maior altitude, estando na cota aproximada de 450 metros. A altitude vai sendo suavizada homogeneamente em direção as áreas periféricas da cidade, o que indica em concordância com o observado no modelo HAND, que são nestas áreas periféricas da cidade, onde estarão os pontos mais adequados para o armazenamento da água das chuvas.

Para a proposição de pontos de armazenamento das águas das chuvas, foram levados em consideração outros fatores além da observação da representação gráfica das altitudes. Observando as curvas de nível da cidade foi feita a análise do declive de cada rua separadamente, com a ajuda da ferramenta *Street View*, do Google Earth Pro, assim como, foi considerado o uso e ocupação do solo na escolha dos locais. O modelo HAND, também auxiliou na identificação das áreas favoráveis ao armazenamento, e a mancha de inundação evitou que fossem escolhidos pontos que causassem prejuízos futuros.

Figura 20 - Mapa hipsométrico da área urbana de São João do Cariri

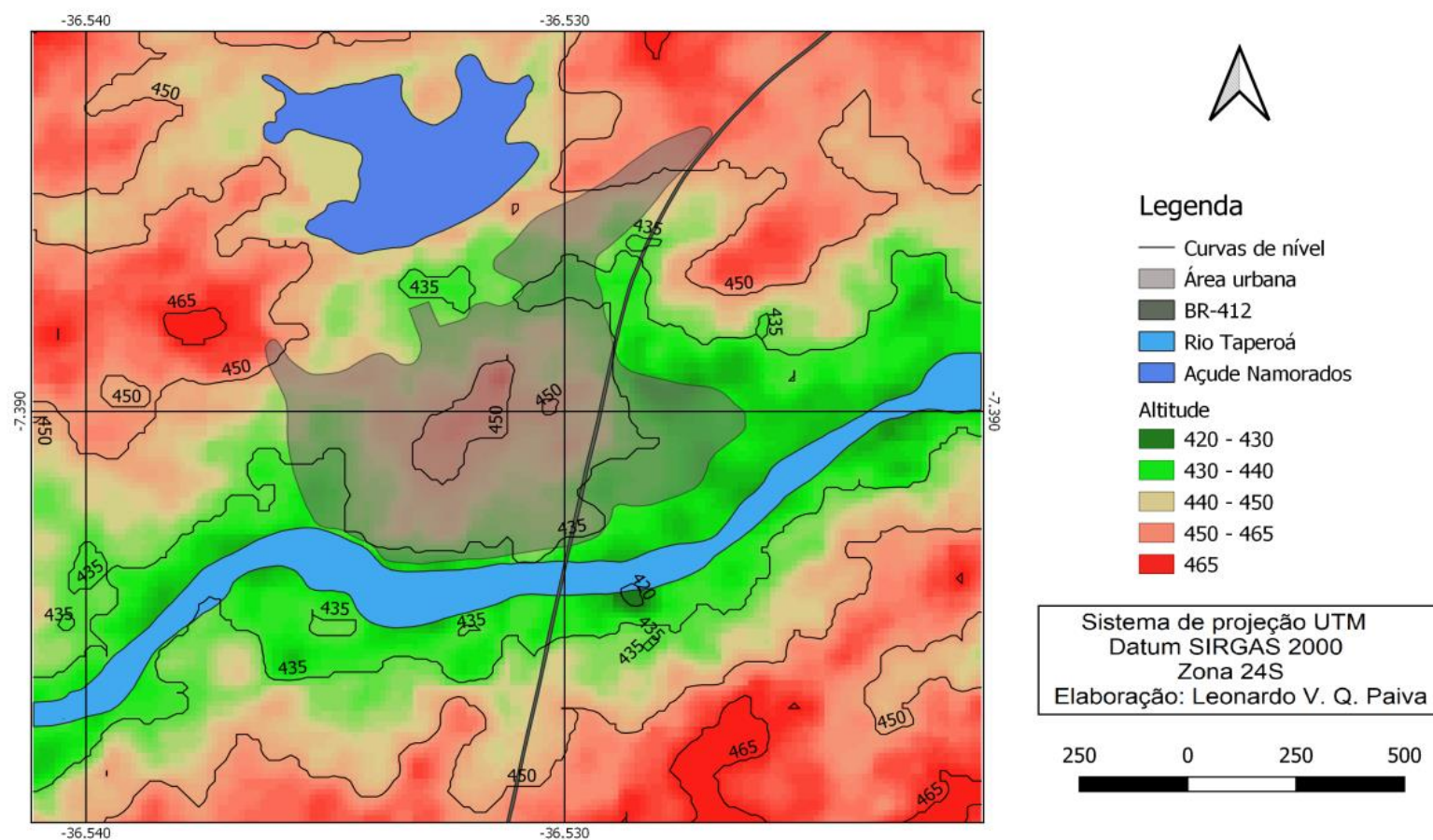
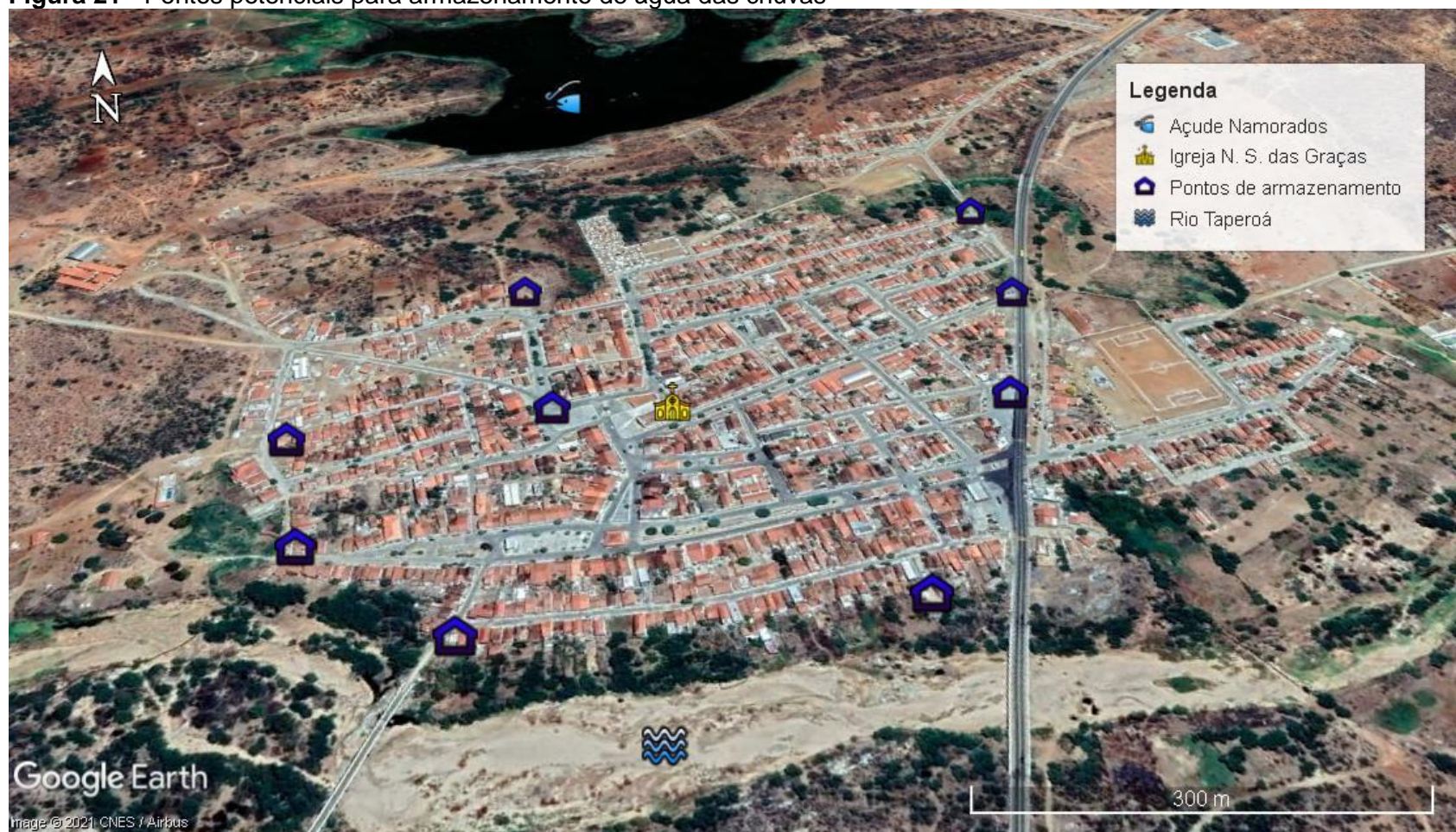


Figura 21 - Pontos potenciais para armazenamento de água das chuvas



Fonte: Google Earth Pro; Elaborada pelo autor.

Devido ao período em que esse trabalho foi desenvolvido (durante a pandemia do COVID-19), não foi possível realizar uma observação mais minuciosa, feita presencialmente na cidade de São João do Cariri, para observação desses resultados. Seria interessante, um estudo mais criterioso, por exemplo, da profundidade dos solos nos possíveis locais de armazenamento. Nesse caso, por ser comum na região a incidência de solos rasos, em alguns locais seria importante a instalação de cisternas que não fossem semienterradas, ou até mesmo elevadas, de acordo com a necessidade de transporte dessa água para outros pontos.

Diante dos altos volumes potenciais de captação que são encontrados para alguns meses do ano, outra possibilidade para armazenamento seria a construção de lagoas artificiais. Para todos os casos, é importante a construção de um sistema de retenção de sedimentos o mais eficiente possível, já que a água da chuva escoia pelas ruas da cidade, carreando todo tipo de resíduos. Além disso, é indispensável que seja feito o tratamento adequado dessa água de acordo com o fim para o qual ela será destinada.

5 CONCLUSÃO

Foi observado nesse trabalho, refletindo o que ocorre no restante do semiárido brasileiro, que a distribuição das chuvas no município de São João do Cariri/PB é extremamente irregular, havendo diferenças abruptas entre as taxas pluviométricas da curta estação chuvosa e do período de estiagem. A assimetria do regime pluvial também se confirma com a variabilidade das taxas pluviométricas de cada mês, de um ano para outro. Além disso, o desvio padrão supera as próprias médias em alguns meses, o que representa a elevada dispersão com relação a ela. Isto nos indica que a mediana é a medida de tendência central com maior chance de acontecer.

Os meses de março e abril são os que mais chovem, com medianas superiores a 60 mm, e equivalendo a 39% do total anual de chuvas.

Seja tomando toda a extensão da cidade como área de captação ou apenas as ruas calçadas, foi constatado elevado potencial de captação de água das chuvas para a localidade. A captação e armazenamento desse recurso podem ser de grande valia para suprir as necessidades hídricas da

cidade para fins não potáveis. Logo, esta estratégia mostra ser uma excelente auxiliadora na convivência com a seca.

Analisando isoladamente a demanda de água para as escolas e creches da região, concluímos que toda a necessidade desse recurso, para fins não potáveis, pode ser suprida através do reuso de água pluvial. Ou seja, há disponibilidade de área suficiente, para captar um volume de recurso hídrico que garanta o suprimento da demanda não potável de água das escolas e creches da cidade.

Os volumes das cisternas devem ser dimensionados de acordo com o volume de água necessário e com a área de captação que se dispõe para cada caso. O regime pluvial e o consequente potencial de captação de água da chuva (VPC) devem ser considerados no dimensionamento das cisternas, para evitar o sub ou superdimensionamento.

Por fim, a utilização do modelo HAND, é de grande auxílio na identificação dos locais com melhor potencial para armazenamento de água das chuvas. A identificação desses pontos, somada a aplicação de métodos adequados de armazenamento deste recurso, podem amenizar os impactos da escassez de água, em momentos de estiagem, assim como, evitar situações de risco de desastre por inundação, em momentos de chuva extrema. Dessa forma, esse trabalho se apresenta como alternativa importante para o aproveitamento das águas das chuvas em ambientes urbanos, particularmente localizados no contexto do clima semiárido.

REFERÊNCIAS

- AESA. **Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba.** João Pessoa, 2020. Disponível em: <http://geoserver.aesa.pb.gov.br>. Acesso: 10 de dezembro de 2020.
- ALMEIDA H. A. de., OLIVEIRA G. C. de S. **Potencial para a captação de água de chuvas em Catolé de Casinhas, PE.** In: **Simpósio brasileiro de captação e manejo de água de chuva**, 7, 2009, Caruaru, PE, CD-R, 2009.
- ALMEIDA H. A. de., GOMES A. V. M. **Potencial para a captação de água da chuva: alternativa de abastecimento de água nas escolas públicas de Cuité, PB.** In: **Congresso brasileiro de Agrometeorologia**, 17, Guarapari, ES, CD-R, Anais, 2011.
- ALMEIDA H. A. de., FARIAS, M. P. **Potencial de captação de água de chuva como alternativa para o desenvolvimento das localidades mais secas da microrregião do cariri da Paraíba.** In: **captação, manejo e uso de água de chuva.** Campina Grande, PB, INSA, 2015, capítulo 18, p. 373-386.
- ALVES A. P. **Estratégias de Convivência com o Semiárido Brasileiro. Artigo: Convivência com o Semiárido.** Fundação de Apoio da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – FAURGS /REDEgenteSAN / Instituto Brasileiro de Desenvolvimento e Sustentabilidade – IABS / Agência Espanhola de Cooperação Internacional para o Desenvolvimento – AECID / Ministério do Desenvolvimento Social e Combate à Fome - MDS / Editora IABS, Brasília-DF, Brasil - 2013.
- ALVES, M. L. P. R. **Aplicação do modelo Height Above the Nearest Drainage (HAND) para análise de inundação na bacia hidrográfica do rio Cuiá, João Pessoa, Paraíba, Brasil.** 2019. 53 p. Trabalho de Conclusão de Curso. Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, PB, 2019.
- ALOS PALSAR – About. ASF, Estados Unidos, 2020. Disponível em: <<https://asf.alaska.edu/data-sets/sar-data-sets/alos-palsar/alos-palsar-about/>>. Acesso em 12 de outubro de 2020.
- BACCI, Denise de La Corte; PATACA, Ermelinda Moutinho. Educação para a água. Estudos Avançados, v. 22, n. 63, pp. p. 211-226, 2008. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S010340142008000200014&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 12.05.2020.
- BERTÉ, Rodrigo. **Gestão Socioambiental no Brasil.** Curitiba: Ibpx, São Paulo: Saraiva, 2009.
- BEGUM, S.; RASUL, M.G. Reuse of stormwater for watering gardens and plants using green gully: a new stormwater quality improvement device (SQID). **Water Air Soil Pollution: Focus**, v. 9, n. 5, p. 371-380. 2009.

BRASIL. **Programa de Ação Nacional de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca PAN-Brasil**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente/Secretaria de Recursos Hídricos, 2004.

BRASIL. Ministério da Integração Nacional. **Nova delimitação do Semiárido brasileiro**. Brasília, DF, 2005.

BUARQUE, D. C. Comparação de métodos para definir direções de escoamento a partir de modelos digitais de elevação. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 14, n. 2, p. 91-103, 2009.

BUHAUG, H., & URDAL, H. **An urbanization bomb? Population growth and social disorder in cities**. *Global Environmental Change*, 23(1), 1–10. 2013.

CABRAL, R. Das ideias à ação, a SUDENE de Celso Furtado – Oportunidade histórica e resistência conservadora. **Cadernos do Desenvolvimento**. vol. 6 (8), maio de 2011.

CHOW, V. T. Hidrologic Determination of Waterway Areas for the Design of Drainage Structures in Small Drainage Basins. **Engineering Experiment Station Bulletin**. University of Illinois, n. 462, p. 104. 1962.

CHRISTOFIDIS, D., ASSUMPÇÃO R. S. F. V., KLIGERMAN D. C. A evolução histórica da drenagem urbana: da drenagem tradicional à sintonia com a natureza. **Saúde Debate**. Rio de Janeiro, v. 43, n. Especial 3, p. 94-108, 2019.

CONTI, I. L., SCHROEDER E. O. *et al.* **Estratégias de Convivência com o Semiárido Brasileiro: Textos e Artigos de Alunos(as) Participantes**. Fundação de Apoio da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – FAURGS /REDEgenteSAN / Instituto Brasileiro de Desenvolvimento e Sustentabilidade – IABS / Agência Espanhola de Cooperação Internacional para o Desenvolvimento – AECID / Ministério do Desenvolvimento Social e Combate à Fome - MDS / Editora IABS, Brasília-DF, Brasil - 2013.

COOPERVIDA, 2014. **Tecnologias sociais para a convivência do semiárido**. Manual dos cisterneiros. Cisterna calçadão e enxurrada. 2014.

CORREIA, R. C., KIILL, L. H. P., MOURA, M. S. B., CUNHA, T. J. F., JESUS JUNIOR, L. A., ARAUJO, J. L. P. **A região semiárida brasileira. Produção de caprinos e ovinos no Semiárido**. In: VOLTOLINI, T. V. (Ed.). Cap. 1, p. 21-48. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2011.

Donofrio J, Kuhn Y, McWalter K, *et al.* Water-sensitive urban design: An emerging model in sustainable design and comprehensive water-cycle management. **Environmental Practice**, cap. 11(03), p. 179-189. 2009.

Crow, J., Bardill, J., Bayliss, R. **The water supply of Byzantine Constantinople, society for the promotion of roman studies**. Londres. 286 p. 2008.

FARIAS, M. P. **Potencial de captação de água de chuva como alternativa para o desenvolvimento das localidades mais secas da microrregião do cariri da Paraíba.** 2015. 87 p. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Regional) - Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande. 2015.

FALKENMARK, M. Water scarcity and population growth: a spiralling risk. **Ecodecision**, v.6, p.21-23, 1992.

FEWKES, A. Modelling the performance of rainwater collection systems: towards a generalised approach. **Urban Water**, v. 1, n. 4, p. 323-333, 1999.

Fletcher R., Penny D., Evans D., Pottier C., Barbetti M., Kummu M., Lustig T. The water management network of Angkor. **Antiquity** 82. Cambodia, p. 658-660, 2008.

FRANCISCO, P. R. M. **Classificação e mapeamento das terras para mecanização do Estado da Paraíba utilizando sistemas de informações geográficas.** Dissertação de Mestrado. Centro de Ciências Agrárias. Universidade Federal da Paraíba. Areia, 2010.

FRANÇA F. M. C. *et al.* **Cisterna de placas: construção, uso e conservação.** Fortaleza: Secretaria dos Recursos Hídricos. Cartilhas temáticas tecnologias e práticas hidroambientais para convivência com o Semiárido ; v. 2, 33p, 2010.

GHIMIRE, S. R., JOHNSTON, J. M., INGWERSEN, W. W., & HAWKINS, T. R. Life cycle assessment of domestic and agricultural rainwater harvesting systems. **Environmental Science & Technology**, 48(7), 4069–77. 2014.

GNADLINGER, J. **Colheita de Água de Chuva em Áreas Rurais.** In: 2º Forum Mundial da Água, em Haia, Holanda, de 16 a 22 de março, 2000.

GNADLINGER, J. **A contribuição da captação de água de chuva para o desenvolvimento sustentável do semiárido brasileiro – uma abordagem focalizando o povo.** In: Simpósio Brasileiro de Captação de Água de Chuva no Semi-Árido, 3, 2001. Campina Grande-PB. Anais eletrônicos. Campina Grande, 2001.

GNADLINGER, J. How can rainwater harvesting contribute to living with droughts and climate change in semi-arid Brazil?. **Waterlines**, volume 33, número 2, p. 146-153, Practical Action Publishing, Bourton on Dunsmore, Inglaterra, 2014.

GNADLINGER, J. **Água de chuva no manejo integrado dos recursos hídricos em localidades semiáridas: aspectos históricos, biofísicos, técnicos, econômicos e sociopolíticos.** In: GHEYI, H. R. Captação, manejo e uso de água de chuva. 440 p. Campina Grande-PB. INSA: ABCMAC, 2015.

GOMES, U. A. F., DOMENECH, L., PENA J. L., HELLER L., PALMIER L. R. A Captação de Água de Chuva no Brasil: Novos Aportes a Partir de um Olhar Internacional. **RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. Volume 19, n.1 – Jan/Mar, p. 7-16, 2014.

GONÇALVES, R. F. (Coord.). **Uso racional de água em edificações**. Rio de Janeiro: ABES, v.5. 352 p. (Projeto PROSAB, Edital 4). 2006.

GUARESCHI, N. *et al* (2004). **Problematizando as práticas psicológicas no modo de entender a violência**. In: **Violência, gênero e Políticas Públicas**. Strey, M. N.; Azambuja, M. P. R.; Jaeger, F. P. (orgs.) Editora EDIPUCRS, Porto Alegre, 2004, p. 177-192.

GURUNG, T.R., SHARMA, A. **Communal rainwater tank systems design and economies of scale**. J. Clean. Prod. 67, 26 e 36. 2014.

HAGMAN, G. **Prevention Better than Cure, Report on Human and Environmental Disasters in the Third World**, Preparado para a Cruz Vermelha da Suécia, Estocolmo, 1984.

INPE, 2020. TerraHidro. Disponível em: <TerraHidro — Coordenação-Geral de Observação da Terra (inpe.br)>. Acesso em 15 de dezembro de 2020.

MALVEZZI, R. **Semi-Árido: uma visão holística**. Brasília: CONFEA, 2007.

MARENGO, J. A. **Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade**: caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI. Brasília, DF: MMA, 2006. 202 p. il. (Biodiversidade, 26). 2006.

MARENGO, J. A., ALVES, L. M., BESERRA, E., LACERDA, F. **Variabilidade e mudanças climáticas no semiárido brasileiro**, in: Medeiros, S. de S., Gheyi, H.R., Galvão, C. de O., Paz, V.P da S. (Orgs.). Recursos Hídricos e Regiões Áridas e Semiáridas. INSA, Campina Grande, pp. 387- 400, 2011.

MAY, S. **Estudo da viabilidade do aproveitamento de água de chuva para consumo não potável em edificações**. 2004. 189f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

Minnesota Stormwater Steering Committee. **Minnesota Stormwater Manual**. Minnesota Pollution Control Agency, St. Paul. 2005.

MOMO, M. R.; PINHEIRO, A.; SEVERO, D. L.; CUARTAS, L. A.; NOBRE, A. D. Desempenho do modelo HAND no mapeamento de áreas suscetíveis à inundação usando dados de alta resolução espacial. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. V. 21, n.1, p. 200-208, 2016.

MORIN, E. **Educar na era planetária**: O pensamento complexo como método de aprendizagem pelo erro e incerteza humana. São Paulo: Cortez; Brasília, DF: UNESCO, 2003b.

MOURA, M. S. B., ALMEIDA, H. A. **Potencial de Captação de Água da Chuva:** alternativa das cisternas calçadão em Barra de Santana, PB. **II Workshop Internacional sobre Água no Semiárido Brasileiro (II WIASB)**, 5p. Campina Grande - PB. 2015.

NETO, M. L. F., NAGHETTINI, M., von SPERLING, M., LIBÂNO, M. **Avaliação da relevância dos parâmetros intervenientes no consumo *per capita* de água para municípios de minas gerais.** CEPIS, Nota Técnica, Vol. 9, N. 2, p. 100-107, abr./jul. 2004.

NIEMCZYNOWICZ, J. Urban hydrology and water management – present and future challenges. **Urban Water**, 1(1), 1–14. 1999.

NOBRE, A. D.; CUARTAS, L. A.; HODNETT, M.; RENNO, C. D.; RODRIGUES, G.; SILVEIRA, A.; WATERLOO, M.; SALESKA, S. Height above the Nearest Drainage, a hydrologically relevant new terrain model. **Journal Hydrology**. v. 404, n. 1-2, p.13–29. DOI: 10.1016. 2011.

NOBRE, A. D.; CUARTAS, L. A.; MOMO, M. R.; SEVERO, D. L.; PINHEIRO, A.; NOBRE, C. A. **HAND contour:** a new proxy predictor of inundation extent. *Hydrological Processes*. n. 30, p. 320–333. DOI: 10.1002. 2016.

O'CALLAGHAN, J.F., MARK, D.M., The extraction of drainage networks from digital elevation data. **Computer Vision, Graphics and Image Processing**. n. 28, p.323–344, 1984.

PETERS, M. R. **Potencialidade de uso de fontes alternativas de água para fins não potáveis em uma unidade residencial.** 2006. 109f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

PHILLIPI, L. S. *et al.* **Aproveitamento da água de chuva.** In: GONÇALVES, R. F. (Org.). *Uso racional da água em edificações.* Rio de Janeiro: ABES – PROSAB, 2006. Cap. 3, pg. 73-152.

PONTES, E. T. M. e MACHADO, T. A. **Programa um milhão de cisternas rurais no nordeste brasileiro:** políticas públicas, desenvolvimento sustentável e convivência com o semi-árido. **XIX ENGA**, São Paulo, p. 1-25, 2009.

RODRIGUES, R., M.A. SANTOS e F.N. CORREIA. **A seca na perspectiva da investigação hidrológica.** In: **Simpósio Catástrofes Naturais.** Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa. 1993.

SANTOS M. J. J. **Caracterização e monitorização de secas.** INAG – DSRH – Instituto da Água – Direção de Serviços de Recursos Hídricos. 26p. Dezembro, 1998.

SANTOS, M.J.; ARAÚJO, L.E.; OLIVEIRA, E.M. *et al.* **Seca, precipitação e captação de água de chuva no Semi-árido.** Engenharia Ambiental - Espírito Santo do Pinhal, v. 6, n. 1, p. 055-073, jan/abr. 2009.

SANTOS, J. **Gestão de águas pluviais urbanas**: mudança do paradigma nos sistemas públicos de drenagem. 2010. 166 p. Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de Mestre em Engenharia do Ambiente. Faculdade de Engenharia. Universidade do Porto. 2010.

SCHUELER, T. *Controlling urban runoff*: a practical manual for planning and designing urban BMP. Washington, DC: Metropolitan Washington Council of Governments, 1987.

SILANS, A. P. **Alternativas científicas e tecnológicas para o abastecimento de água no semi-árido**. In: **Água e desenvolvimento sustentável no semi-árido**. Fortaleza: Fundação Konrad Adenauer, Série Debates, 2002, p. 133-160.

SILVA, A. S., LIMA, L.T., GOMES, P. C. F. **Captação e conservação de água de chuva para consumo humano**: cisternas rurais- dimensionamento, construção e manejo. EMBRAPA - CPTASA, Circular Técnica n.12, 103p, 1984.

SILVA J. A. L., MEDEIROS M. C. S., CABRAL L. N., PEREIRA T. M. S., LIMA V. L. A. **Gestão hídrica a partir da captação das águas de chuvas em tanques de pedra**. In: **II Workshop Internacional sobre Água no Semiárido Brasileiro (II WIASB)**, 4p. Campina Grande - PB. 2015.

SILVA L., ALMEIDA H. A. de. **Estimativa do potencial para captação de água de chuva em Quixadá, CE**. In: **Simpósio brasileiro de captação e manejo de água de chuva**, 7. Caruaru, PE. 2009.

SILVA M. S. L., MENDONÇA C. E. S., ANJOS J. B., FERREIRA G. B., SANTOS J. C. P., NETO M. B. O. **Barragem subterrânea**: uma opção de sustentabilidade para a agricultura familiar do semi-árido do Brasil. EMBRAPA, Circular Técnica, 10p. Recife – PE. 2007.

SILVA, R. M. A. Entre o Combate à Seca e a Convivência com o Semi-Árido: políticas públicas e transição paradigmática. **Revista Econômica do Nordeste**, Fortaleza, v. 38, nº 3, p. 466-485, jul-set. 2007.

Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS): **Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2014**. Brasília: SNSA/MCIDADES, 212 p, 2016.

SOUZA, J. G. de. **O nordeste brasileiro**: uma experiência de desenvolvimento regional. 1ª ed. Fortaleza: Banco do Nordeste. 1979.

TOMAZ, Plínio. **Previsão de consumo de água**. Interface das instalações prediais de água e esgoto com os serviços públicos. São Paulo: Comercial Editora Hermano & Bugelli Ltda, 2000.

TUCCI, C. E. M. **Gestão de águas pluviais urbanas**. Ministério das cidades, Brasília. 2005.

TUCCI, C. E. M. **Águas urbanas. Estudos Avançados**. São Paulo, v. 22, n. 63, 2008.

UNITED NATIONS. Environment Management Group. **Global drylands: a UN system-wide response**. Geneve, SW: 132p. 2011.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA). Guidelines for Water Reuse. U. S. Environmental Protection Agency, Office of Water. Washington, DC. 2004. Disponível em: <<https://www.epa.gov/waterreuse/guidelines-water-reuse>> . Acesso em: 30 de abril de 2021.

Victorian Stormwater Committee. **Urban Stormwater: Best Practice Environmental Management Guidelines**. CSIRO Publishing, Victoria. 1999.

VIVACQUA, M. C. R. **Qualidade da Água do Escoamento Superficial Urbano – Revisão Visando o Uso Local**. 2005. 185p. Dissertação – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária, São Paulo, 2005.

WENDEL, H.E.W.; DOWNS, J.A.; MIHELIC, J.R. Assessing equitable access to urban green space: the role of engineered water infrastructure. **Environmental Science & Technology**, n. 45, n. 16, p. 6728-6734. 2011.

XAVIER, R. A.; DORNELLAS, P. C.; MACIEL, J. S.; BÚ, J. C. Caracterização do regime fluvial da bacia hidrográfica do rio Paraíba – PB. **Revista Tamoios**, São Gonçalo, n. 2, p. 15-288, 2012.

ZANELLA, L. **Viabilidade técnica e econômica da captação de água de chuva no meio urbano**. In: SANTOS, D.B. dos; MEDEIROS, S. de S.; BRITO, L.T. de L.; GNADLINGER, J.; COHIM, E. ; PAZ, V.P. da S.; GHEYI, H.R. *Captação, manejo e uso de água de chuva*. Campina Grande: INSA. 2015.