



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
CENTRO MULTIDISCIPLINAR DE ANGICOS
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

ARIADNE LENE ARAÚJO DANTAS

**SISTEMA DE REUSO DE ÁGUAS PLUVIAIS PARA USOS NÃO NOBRES NA
CIDADE DE CAICÓ-RN**

ANGICOS

2020

ARIADNE LENE ARAÚJO DANTAS

**SISTEMA DE REUSO DE ÁGUAS PLUVIAIS PARA USOS NÃO NOBRES NA
CIDADE DE CAICÓ-RN**

Trabalho Final de Graduação apresentado a
Universidade Federal Rural do Semi-Árido
como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Andrea Saraiva de Oliveira, Prof.
Ma.

ANGICOS

2020

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

D192s Dantas, Ariadne Lene Araújo.
SISTEMA DE REUSO DE ÁGUAS PLUVIAIS PARA USOS
NÃO NOBRES NA CIDADE DE CAICÓ-RN / Ariadne Lene
Araújo Dantas. - 2020.
54 f. : il.

Orientadora: Andrea Saraiva de Oliveira.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia Civil,
2020.

1. Reuso de água pluvial. 2. Cisterna. 3.
Método Andrade Neto. 4. Desvio do primeiro mm. I.
Oliveira, Andrea Saraiva de, orient. II. Título.

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

ARIADNE LENE ARAÚJO DANTAS

**SISTEMA DE REUSO DE ÁGUAS PLUVIAIS PARA USOS NÃO NOBRES NA
CIDADE DE CAICÓ-RN**

Trabalho Final de Graduação apresentado a
Universidade Federal Rural do Semi-Árido
como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil.

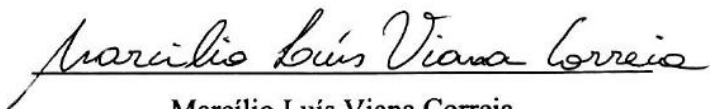
Defendida em: 05 / 02 / 2020

BANCA EXAMINADORA



Andrea Saraiva De Oliveira, Prof. Me. (UFERSA)

Presidente



Marcílio Luís Viana Correia

Membro Examinador



Maria Cristina Cavalcante Belo

Membro Examinador

Dedico este trabalho aos meus pais, George e Suzana, pois são eles os responsáveis pela boa educação que recebi e por todo incentivo dado no desenvolver da minha vida acadêmica.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Deus pelo dom da vida, por todas as oportunidades e desafios que apareceram, pois me proporcionam grande aprendizado, e por tudo que ainda está por vir.

Aos meus pais George Roberto Dantas e Suzana Márcia Araújo Dantas por estarem sempre ao meu lado nos mais diversos momentos da vida, sejam eles bons ou maus. Serei eternamente grata por todas as abdições feitas por vocês no intuito de proporcionar sempre o melhor para mim e meu irmão Átila Augusto Araújo Dantas. Obrigada por sempre depositar total confiança no meu potencial, até mesmo nas horas em que eu mesma achava que não possuía tal capacidade.

Ao meu irmão Átila Augusto Araújo Dantas por todo carinho demonstrado. Que você nunca desista dos seus sonhos por mais difícil que seja a vida.

Aos amigos que a UFERSA me presenteou, a agradeço por todo apoio e conhecimentos compartilhados. Entre os amigos adquiridos, agradeço em especial as minhas grandes amigas Maria de Lourdes Xavier De França Neta e Geovanna Paulina Dantas Maia, que estiveram comigo ao longo dessa jornada e continuam sendo meu alicerce nos momentos de alegria e nos de desespero, independente da distância. Obrigada por todo companheirismo.

Agradeço à minha amiga Bruna Lourena de Lima Dantas, por ser tão presente e por tudo que fez e faz por mim. Não sei expressar tamanho carinho e gratidão.

Agradeço à minha professora e orientadora Andrea Saraiva de Oliveira por ter aceitado o convite de me orientar neste Trabalho Final de Graduação. Obrigada por todo conhecimento repassado ao longo desses 4 períodos de convivência. Agradeço também por toda paciência que teve nessa reta final do curso.

Aos professores Marcílio Luís Viana Correia e Maria Cristina Cavalcante Belo por terem aceito o convite de fazer parte da minha banca, auxiliando na conclusão e enriquecimento deste Trabalho Final de Graduação.

RESUMO

Entendendo que a água é um recurso finito, e que seu uso nem sempre é realizado com responsabilidade e eficiência por organizações e sociedade, o objetivo dessa pesquisa é propor um sistema de reuso de água de chuva para residências unifamiliares no interior do estado do Rio Grande do Norte. Para alcançá-lo, realizou-se uma pesquisa bibliométrica em fontes essenciais para levantar teorias e dados que embasassem o dimensionamento de uma cisterna para armazenamento de água pluvial, a partir do método de Andrade Neto, considerado o mais adequado por levar em consideração perdas do sistema, períodos de precipitação crítica, demanda, área de captação, entre outras variáveis. Como resultado, obteve-se uma cisterna com capacidade para 28,1m³, possibilitando uma redução no consumo da água fornecida pela concessionária, obtendo um economia de até 32% do total de água consumida na residência. Além disto, houve o dimensionamento de um sistema de desvio das águas provenientes do primeiro milímetro de chuva, possibilitando melhor qualidade na água reservada.

Palavras-chave: Reuso de água pluvial. Cisterna. Método Andrade Neto. Desvio do primeiro mm.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Precipitação média anual acumulada nos estados brasileiros.....	16
Figura 2 - Precipitação média anual do Nordeste e Semiárido brasileiro.	17
Figura 3- Sistema de captação de água pluvial para reuso	25
Figura 4- Ábacos para a determinação de diâmetros de condutores verticais.....	26
Figura 5- Capacidade de condutores horizontais de seção circular (vazões em L/min.)	27
Figura 6 - Ilustração do sistema de reuso de água pluvial composto por A-telhado e calha, B- dispositivo de desvio DesviUFPE, C-cisterna.....	29
Figura 7 – Ilustração do funcionamento do DesviUFPE.....	29
Figura 8- Localização geográfica do município de Caicó no estado do Rio Grande do Norte	38
Figura 9- Planta de cobertura para dimensionamento do sistema de reuso de água pluvial. ..	42
Figura 10- Calha em concreto liso.....	44
Figura 11 – Dimensionamento do diâmetro para o condutor vertical do sistema	45
Figura 12- Planta de cobertura	48
Figura 13- Corte AA: dispositivo de desvio e sistema de reuso de água pluvial	49
Figura 14- Planta baixa do sistema de reuso	50

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Pluviometria média anual dos últimos 20 anos na cidade de Caicó/RN	18
Gráfico 2 - Contribuição de cada atividade ao consumo per capita	24

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Consumo médio per capita nos estados e macrorregiões brasileiras.....	20
Tabela 2- Vazão nos pontos de utilização em função do aparelho e da peça de utilização.....	22
Tabela 3- Coeficientes de rugosidade.....	26
Tabela 4- Precipitação acumulada em cada mês do ano, nos últimos 10 anos.....	41
Tabela 5- Cálculo da área total de captação	43

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Objetivos.....	14
1.1.1	Objetivo geral	14
1.1.2	Objetivos específicos.....	14
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	15
2.1	Importância da água	15
2.2	Disponibilidade hídrica.....	15
2.2.1	Precipitação média anual no município de Caicó/RN nos últimos 20 anos.....	18
2.3	Abastecimento de água da cidade de Caicó	19
2.4	Importância da captação e posterior reuso da água de chuva.....	19
2.5	Consumo médio <i>per capita</i> de água.....	20
2.6	Caracterização de consumo de água em residências.....	22
2.7	Sistema de captação de água pluvial.....	24
2.7.1	Calhas e coletores	25
2.7.2	Dispositivo de descarte das primeiras águas pluviais	28
2.8	Métodos de dimensionamento de cisternas.....	31
2.8.1	Método de Rippl.....	31
2.8.2	Método da simulação	32
2.8.3	Método Azevedo Neto	32
2.8.4	Método prático alemão.....	33
2.8.5	Método prático inglês.....	33
2.8.6	Método prático australiano.....	34
2.8.7	Método de Andrade Neto	35
3	METODOLOGIA DA PESQUISA.....	37
3.1	Delineamento da pesquisa.....	37
3.2	Área de estudo	37
3.2.1	A cidade de Caicó/RN.....	37

3.2.2	Regime Pluviométrico da cidade de Caicó	38
3.2.3	Áreas de captação	38
3.2.4	Dimensionamento de calhas e condutores	39
3.2.5	Consumo de água	39
3.3	Dimensionamento do reservatório	40
3.4	Dimensionamento do dispositivo de desvio das primeiras águas.....	40
4	RESULTADOS.....	41
4.1	Dimensionamento do sistema de reuso	41
4.2	Projeto de captação de águas pluviais	48
5	CONCLUSÃO	51
	REFERÊNCIAS	52

1 INTRODUÇÃO

A água é um recurso natural finito, indispensável principalmente à sobrevivência humana e ao desenvolvimento econômico já que é uma matéria prima fundamental que participa de alguma etapa na fabricação da grande maioria dos produtos existentes. O crescimento desordenado da população e a poluição comprometem a qualidade e a quantidade de água, podendo reduzir a sua disponibilidade gerando muitas preocupações em relação ao futuro, tais como risco de desabastecimento, racionamentos, alto custo da água tratada, impermeabilização do solo e inundações (HESPANHOL, 2003).

Segundo Brito (2017), o aproveitamento da água de chuva é utilizado como uma prática para o abastecimento doméstico e comunitário de água potável e compõe uma das diretrizes de segurança hídrica da Organização Mundial de Saúde (OMS). O armazenamento através de cisternas é feito em diversos países, principalmente nas áreas rurais, porém devido a necessidade cada vez maior desse recurso natural tão valioso, é preciso adotar a cultura de armazenamento também nas áreas urbanas, trazendo diversos benefícios para a população, para as organizações e para o meio ambiente.

A pluviometria no Brasil é bastante diversificada devido seus diversos tipos de clima, relevo, entre outros fatores. A região Nordeste passa por longos períodos de escassez hídrica ao longo do ano, já que os índices de maior pluviometria são vistos nos primeiros meses, enquanto o restante do ano apresenta um volume hídrico abaixo da média, segundo dados do Instituto Nacional de Meteorologia (2020).

Tendo a importância fundamental da água para as mais diversas atividades da existência humana, bem como a necessidade de aproveitar cada vez mais esse recurso natural essencial à sobrevivência de diversos processos produtivos responsáveis pelo desenvolvimento das regiões e ainda levando em conta a aparição de períodos de escassez cada vez mais frequentes, o presente trabalho tem com proposta fundamental o dimensionamento de um sistema de reuso de águas pluviais para usos não potáveis em residências unifamiliares na cidade de Caicó-RN.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Propor um sistema de reuso de água de chuva para residências unifamiliares no interior do estado do Rio Grande do Norte.

1.1.2 Objetivos específicos

- Caracterizar o consumo de água nas residências de Caicó-RN;
- Levantar os índices do regime hidrológico;
- Dimensionar as instalações responsáveis pela captação e reservação da água;
- Padronizar um sistema de descarte da água decorrente das primeiras chuvas;
- Refletir sobre a importância da conscientização dos usuários do futuro sistema quanto à importância do reuso de água pluvial na região que apresenta os menores índices pluviométricos do país;
- Oferecer soluções para a redução do consumo da água tratada pela concessionária do estado, para fins não potáveis.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Importância da água

A água é um dos elementos da natureza mais utilizados e de maior importância, pois é presente, de forma direta ou indireta, em qualquer aspecto que se possa imaginar. Ela é utilizada na indústria, agricultura, turismo, além de ser indispensável para a sobrevivência humana. Porém, apesar de indispensável, vem se tornando cada dia mais degradada e, conseqüentemente, imprópria para consumo à medida que ocorrem crescimentos populacional e econômico mundial (BARROS; AMIN, 2008).

Segundo Von Sperling (2007), a qualidade da água é resultante de fenômenos naturais e da ação humana. As condições naturais são alteradas pelo escoamento superficial e pela infiltração no solo, resultantes da precipitação atmosférica. Já as interferências dos seres humanos na água ocorrem de forma concentrada, como geração de despejo doméstico ou industrial e de forma dispersa, como na introdução de defensivos agrícolas no solo, que contribui na introdução destas substâncias na água, alterando sua qualidade.

No que se refere à qualidade da água, é preciso analisar que essa não se restringe apenas na determinação da pureza da mesma, e sim a finalidade a qual o recurso em questão seja utilizado, sobretudo quando se trata de áreas urbanas, pois “o intenso processo de urbanização vem causando uma preocupação em relação à disponibilidade e qualidade dos recursos hídricos” (RABELO e DANA, 2015, p.3). Dessa forma, ainda segundo as autoras, a qualidade de vida de uma população está intimamente relacionada a elementos sociais, econômicos e ambientais, sendo que no contexto ambiental ressalta-se a importância da qualidade dos recursos hídricos.

A partir da perspectiva da importância da água para a vitalidade de pessoas, animais, meio ambiente e organizações, Botin (2007) aborda problemas como o aumento da população, o uso indiscriminado, a escassez e alterações na qualidade e destaca a importância do fomento às pesquisas que priorizem tecnologias de recuperação da água.

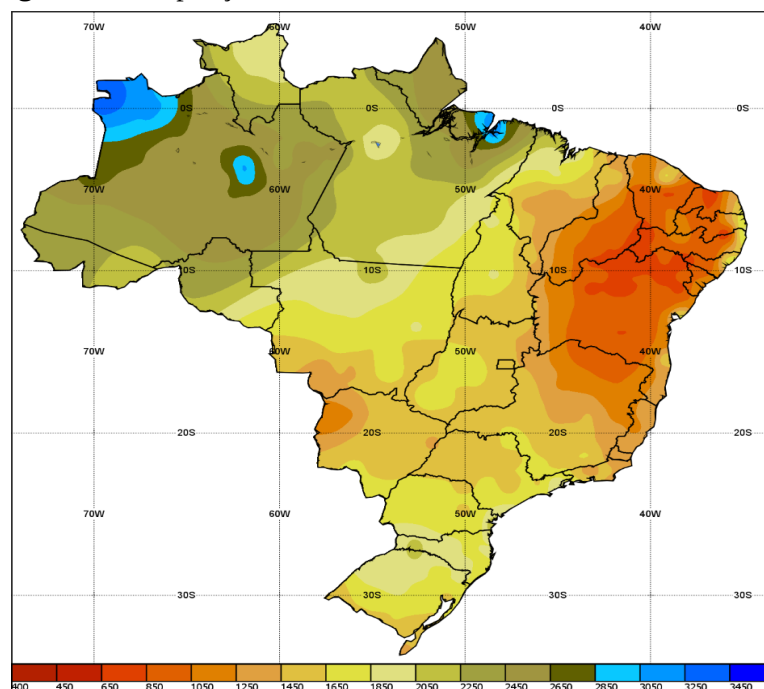
2.2 Disponibilidade hídrica

O planeta Terra é composto, em sua grande maioria, por água. Segundo a ANA (2019), é estimado que 97,5% da água mundial é salgada, ou seja, inapropriada para consumo direto, e os 2,5% restante é de água doce. Porém, dentro desta pequena porcentagem de água doce disponível, existem subdivisões que dificultam ainda mais o acesso à mesma, já que 69% encontra-se nas geleiras, 30% são águas subterrâneas e apenas 1% encontra-se na superfície, em forma de rios.

No Brasil, localiza-se cerca de 12% da água doce existente no planeta. Entretanto, esta distribuição é feita de forma bastante desigual, tendo como exemplo a região Norte, que é a menos habitada, mas possui cerca de 80% da água doce disponível em território nacional. Já nas regiões próximas ao Oceano Atlântico, onde mais de 45% da população nacional está concentrada, apenas 3% deste recurso encontra-se disponível (ANA, 2019).

No que se refere à distribuição de água no Brasil, as diversidades climáticas e geológicas são umas das responsáveis pela disparidade na distribuição dela. Na região Norte do país, a precipitação média anual acumulada é cerca de 2200mm enquanto no Nordeste, onde o clima é predominantemente semiárido, a precipitação média registrada encontra-se inferior a 800mm/ano (MOURA, 2019). Essa disparidade pluviométrica entre as regiões brasileiras é identificada na Figura 1.

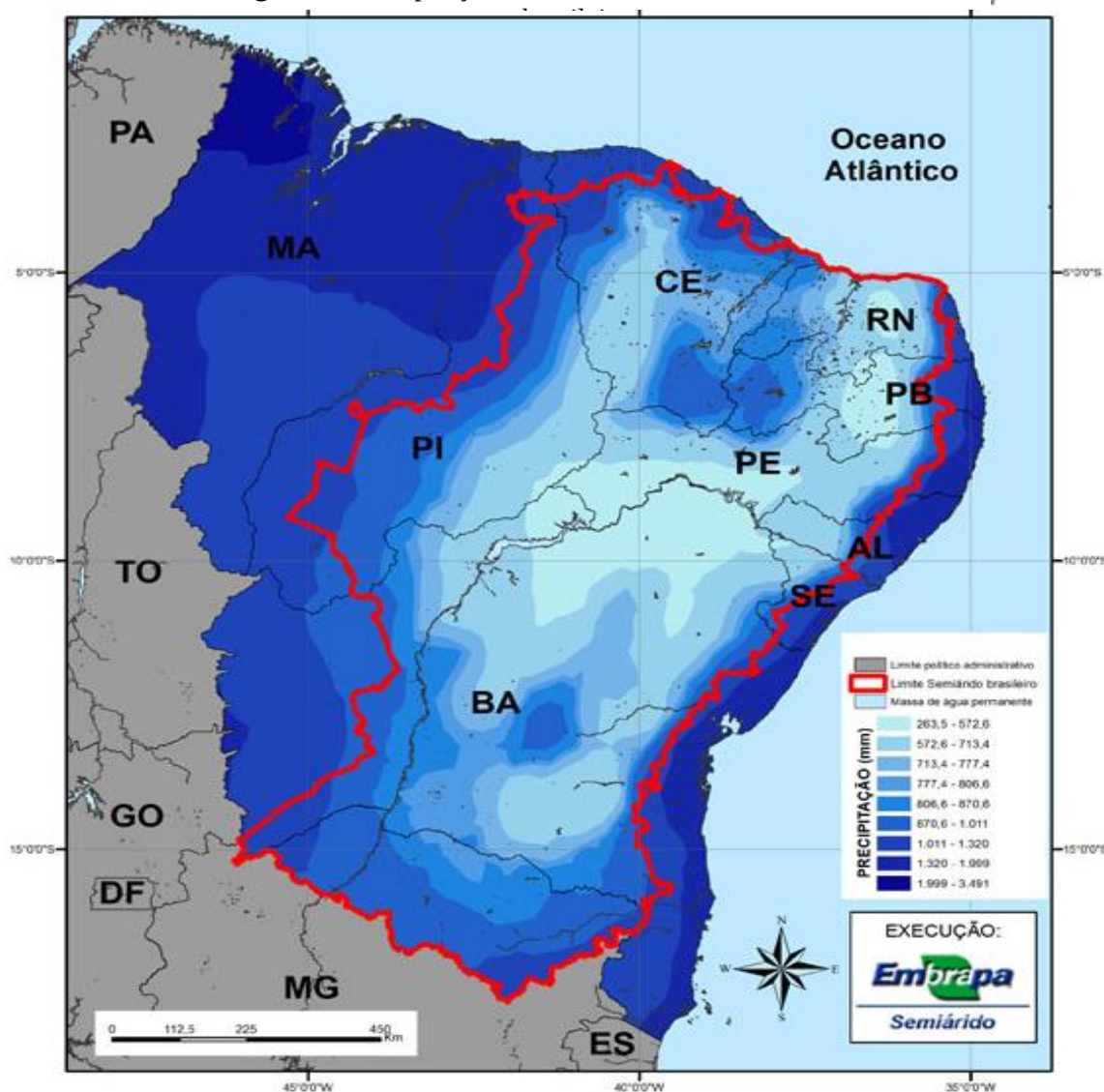
Figura 1- Precipitação média anual acumulada nos estados brasileiros



FONTE: INMET, 2020

Além da baixa precipitação, outro problema é o aumento das taxas de evaporação, que variam de 1000 a 2000 mm anuais tanto em superfícies livres (açudes, represas etc) como no solo (MOURA, 2019). A distribuição das precipitações médias anuais ao longo do Nordeste brasileiro pode ser melhor identificada na Figura 2 abaixo, que faz a distinção da pluviometria pela intensidade das cores, ou seja, quanto mais escuro for, maior a precipitação, portanto o valor mínimo no RN é de 262,5 e o máximo de 1.969 mm.

Figura 2 - Precipitação média anual do Nordeste e Semiárido



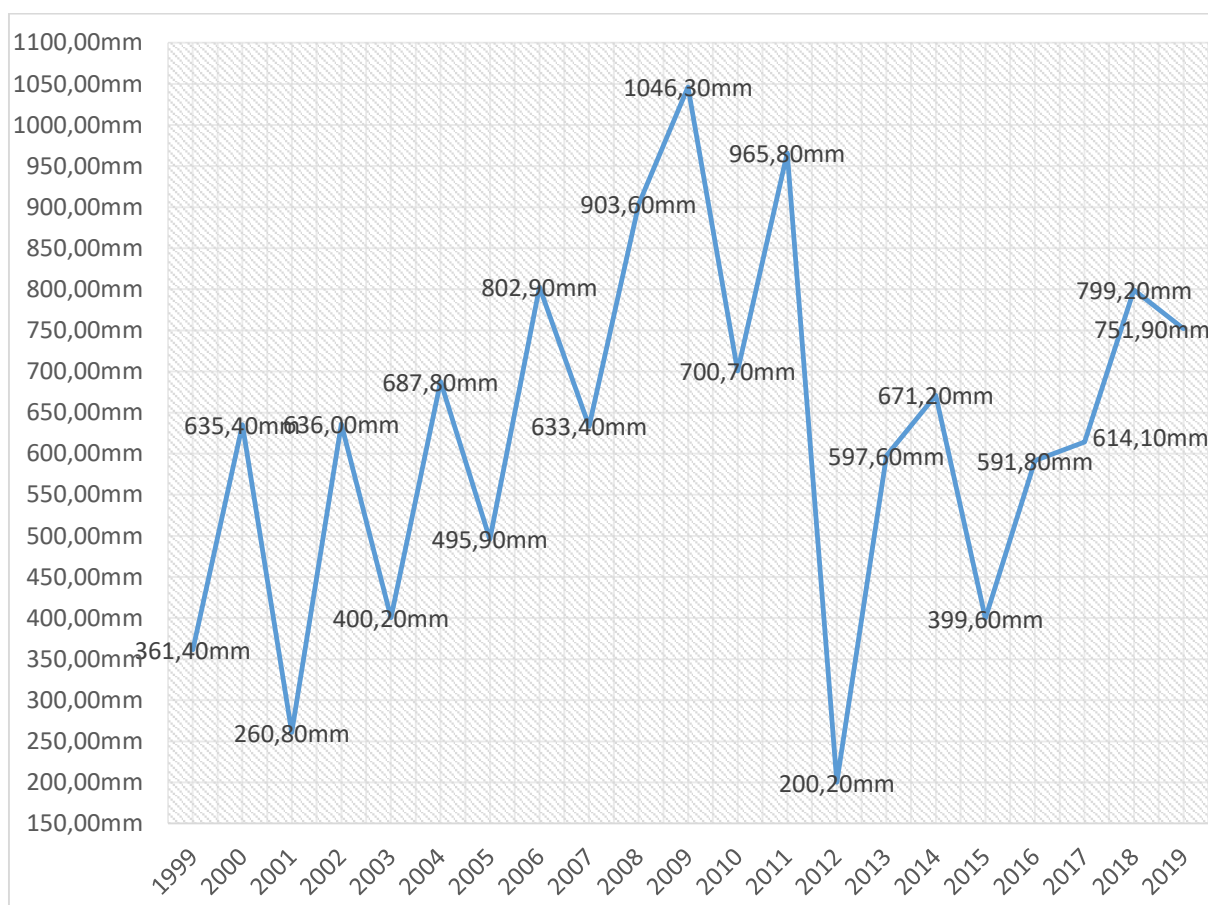
FONTE: MOURA, 2019

2.2.1 Precipitação média anual no município de Caicó/RN nos últimos 20 anos.

O município de Caicó está localizado no interior do Rio Grande do Norte e está inserido no Polígono das secas, por se tratar de uma região de baixos índices pluviométricos e longos períodos de escassez (SANTOS, 2017).

Segundo dados do Instituto Nacional de Meteorologia (2020), a precipitação média anual da cidade de Caicó é cerca de 626,47mm/ano para um período de 20 anos de registros pluviométricos. Nesse período (Gráfico 1), é possível observar uma grande irregularidade do regime pluvial, sendo registrado a maior precipitação acumulada no ano de 2009 com 1.046,30 mm e a menor precipitação no ano de 2012 com 200,20 mm.

Gráfico 1– Pluviometria média anual dos últimos 20 anos na cidade de Caicó/RN



FONTE: ADAPTADO DE INMET(2020)

2.3 Abastecimento de água da cidade de Caicó

O abastecimento de água da cidade de Caicó dependia especialmente do açude Itans, mas precisou enfrentar modificações e contar com soluções alternativas para o problema da estiagem que atinge a cidade frequentemente. Em 2016, a Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte (CAERN), que é responsável pelo abastecimento, colocou em operação um sistema alternativo de abastecimento. A Adutora Manoel Torres- que atende também os municípios de Jardim de Piranhas, São Fernando e Timbaúba dos Batistas passou então a ser o principal meio de fornecimento de água para a cidade (G1 RN, 2016).

Nesse ano de 2016, o açude Itans, principal fonte de captação de água, estava com 5,7% de sua capacidade, um volume que seria suficiente para apenas 60 dias de abastecimento (G1 RN, 2016). Com as melhorias que aconteceram no sistema de abastecimento, em 2018 o abastecimento de água de Caicó foi considerado o mais moderno do Rio Grande do Norte (AGORA RN, 2018).

O sistema de abastecimento de água anteriormente a 2018 utilizava especialmente o açude Itans, mas esse foi modificado, criando-se uma solução no abastecimento pela adutora, que também atende as outras cidades. Dessa forma, a Caern solicitou à Agência Nacional de Águas (ANA), através do Instituto de Gestão de Águas do Rio Grande do Norte (IGARN), o aumento da vazão no açude Curema, no município de Coremas, Estado da Paraíba, para liberar água a fim de aumentar o volume do rio Piranhas. Assim, o açude Itans é utilizado apenas como reserva técnica para eventuais necessidades.

2.4 Importância da captação e posterior reuso da água de chuva

Com a crescente escassez hídrica decorrente das mudanças climáticas e do aumento da população mundial, a adoção de medidas mitigadoras para a crise hídrica é essencial, sendo uma delas a captação e reserva de água de chuva (LIMA et al., 2015). Portanto, Santos (2003) afirma que é preciso buscar alternativas para a convivência com a seca através de investimentos como a construção de barragens subterrâneas, barreiros profundos, captação da água de chuva e de água subterrânea, além do reuso da água de esgoto tratada.

Na zona urbana, o armazenamento de águas pluviais por meio de cisternas, tem o intuito de controlar as vazões, buscando controlar enchentes. Já na zona rural do semiárido brasileiro,

o armazenamento de água de chuva feito por cisternas serve diretamente para o consumo doméstico (ANDRADE NETO, 2013). O programa social P1MC (Programa 1 Milhão de Cisternas), vinculado a ASA (Articulação do Semiárido), atingiu, em dezembro de 2019, o marco de 1 milhão e 100 cisternas construídas, beneficiando a vida de várias famílias desta região (SAMPAIO, 2019).

Sabe-se que ao longo dos anos, com o crescimento das cidades, os solos vêm tornando-se cada vez mais impermeáveis devido as novas construções e pavimentos, ou seja, parte da água que seria infiltrada no solo acaba escoando, aumentando a vazão de jusante das bacias hidrográficas e a probabilidade de pontos de inundação na mesma. A reservação da água pluvial é de suma importância para reduzir as vazões de pico em bacias hidrográficas, já que a água fica reservada na própria bacia, com isso, reduz o aparecimento de episódios de enchentes.

Além disso, essa impermeabilização interfere diretamente no volume dos reservatórios subterrâneos já que sofrem perda de parte da água que serviria para alimentação do mesmo (SANTOS; RUFINO; BARROS FILHO, 2017).

2.5 Consumo médio *per capita* de água

O consumo médio *per capita* de água, de acordo com o SNIS-Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento (2019) é a média diária de consumo de água de cada indivíduo, utilizado para fins doméstico, comercial, público e industrial. Este consumo é medido em l/hab/dia (litros por habitante por dia). A Tabela 1 mostra a média do consumo per capita das macrorregiões brasileiras:

Tabela 1- Consumo médio per capita nos estados e macrorregiões brasileiras.

Estado/ MACRORREGIÃO	Área Territorial - km ² [2018]	Densidade demográfica - hab/km ² [2010]	Consumo <i>per capita</i> - l/hab/dia[2018]
Acre	164123,738 km ²	4,47 hab/km ²	150,20 l/hab/dia
Amapá	142470,762 km ²	4,69 hab/km ²	178,60 l/hab/dia
Amazonas	1559168,117 km ²	2,23 hab/km ²	92,10 l/hab/dia
Pará	1245759,305 km ²	6,07 hab/km ²	153,90 l/hab/dia

Rondônia	237765,233 km ²	6,58 hab/km ²	140,20 l/hab/dia
Roraima	224273,831 km ²	2,01 hab/km ²	132,10 l/hab/dia
Tocantins	277720,404 km ²	4,98 hab/km ²	124,50 l/hab/dia
NORTE	3851281,390 km²	4,43 hab/km²	131,80 l/hab/dia
Alagoas	27843,295 km ²	112,33 hab/km ²	143,00 l/hab/dia
Bahia	564722,611 km ²	24,82 hab/km ²	115,60 l/hab/dia
Ceará	148894,757 km ²	56,76 hab/km ²	126,70 l/hab/dia
Maranhão	329642,170 km ²	19,81 hab/km ²	136,50 l/hab/dia
Paraíba	56467,239 km ²	66,70 hab/km ²	115,30 l/hab/dia
Pernambuco	98068,021 km ²	89,62 hab/km ²	95,30 l/hab/dia
Piauí	251616,823 km ²	12,40 hab/km ²	105,50 l/hab/dia
Rio Grande do Norte	52809,602 km²	59,99 hab/km²	108,10 l/hab/dia
Sergipe	21926,908 km ²	94,36 hab/km ²	112,30 l/hab/dia
NORDESTE	1551991,426 km²	59,64 hab/km²	115,40 l/hab/dia
Espírito Santo	46074,444 km ²	76,25 hab/km ²	160,60 l/hab/dia
Minas Gerais	586521,121 km ²	33,41 hab/km ²	155,20 l/hab/dia
Rio de Janeiro	43750,423 km ²	365,23 hab/km ²	254,90 l/hab/dia
São Paulo	248219,481 km ²	166,23 hab/km ²	169,30 l/hab/dia
SUDESTE	924565,469 km²	160,28 hab/km²	182,60 l/hab/dia
Paraná	199305,236 km ²	52,40 hab/km ²	137,90 l/hab/dia
Rio Grande do Sul	281707,151 km ²	37,96 hab/km ²	149,90 l/hab/dia
Santa Catarina	95730,921 km ²	65,27 hab/km ²	154,00 l/hab/dia
SUL	576743,308 km²	51,88 hab/km²	146,10 l/hab/dia
Distrito Federal	5760,783 km ²	444,66 hab/km ²	135,20 l/hab/dia
Goiás	340125,715 km ²	17,65 hab/km ²	139,20 l/hab/dia
Mato Grosso	903206,997 km ²	3,36 hab/km ²	161,20 l/hab/dia
Mato Grosso do Sul	357145,535 km ²	6,86 hab/km ²	152,50 l/hab/dia
CENTRO-OESTE	1606239,030 km²	118,13 hab/km²	144,90 l/hab/dia
BRASIL	8510820,623 km²	22,43 hab/km²	154,90 l/hab/dia

FONTE: ADAPTADO DE SNIS (2019) E IBGE (2020)

Analisando os dados acima, é possível inferir, ainda que parcialmente, já que na análise não foram abordados fatores importantes como clima e hábitos da população, que as regiões que consomem o maior volume per capita são as regiões mais populosas e que possuem bons índices pluviométricos. Conforme dados do SNIS (2019), a média de consumo de água nacional é de 154,9 l/hab./dia. Mesmo se tratando de uma média nacional, a diferença de consumo entre alguns estados é desconforme, já que observando os dados, é possível identificar uma disparidade entre o consumo no ano de 2018 entre os estados do Rio de Janeiro (254,9 l/hab./dia) e do Amazonas (92,1 l/hab./dia). Esta disparidade se torna mais evidente quando vista em porcentagem, ou seja, o consumo do estado do Amazonas no ano citado representou 36,13% do que foi consumido pelos cariocas no ano em questão.

O estado do Rio Grande do Norte, assim como todos os demais estados do Nordeste, possui o consumo de água per capita bem abaixo da média nacional (108,1 l/hab./dia, o que representa 69,8% da média nacional) (SNIS,2019). Na cidade de Caicó/RN, segundo dados do SNIS (2020), o consumo per capita médio é de 104,1 l/hab/dia.

2.6 Caracterização de consumo de água em residências

O consumo médio dos pontos de utilização está relacionada à frequência do uso de cada um deles. A vazão nos pontos de utilização em função dos tipos dos mesmos, de acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 5626 (ABNT,1998), é mostrada na Tabela 2.

Tabela 2-Vazão nos pontos de utilização em função do aparelho e da peça de utilização

Aparelho sanitário	Peça de utilização	Vazão de projeto L/s
Bacia sanitária	Caixa de descarga	0,15
	Válvula de descarga	1,70
Banheira	Misturador (água fria)	0,30
Bebedouro	Registro de pressão	0,10
Bidê	Misturador (água fria)	0,10
Chuveiro ou ducha	Misturador (água fria)	0,20
Chuveiro elétrico	Registro de pressão	0,10

Lavadora de pratos ou de roupas		Registro de pressão	0,30
Lavatório		Torneira ou misturador (água fria)	0,15
Mictório cerâmico	com sifão integrado	Válvula de descarga	0,50
	sem sifão integrado	Caixa de descarga, registro de pressão ou válvula de descarga para mictório	0,15
Mictório tipo calha		Caixa de descarga ou registro de pressão	0,15 por metro de calha
Pia		Torneira ou misturador (água fria)	0,25
		Torneira elétrica	0,10
Tanque		Torneira	0,25
Torneira de jardim ou lavagem em geral		Torneira	0,20

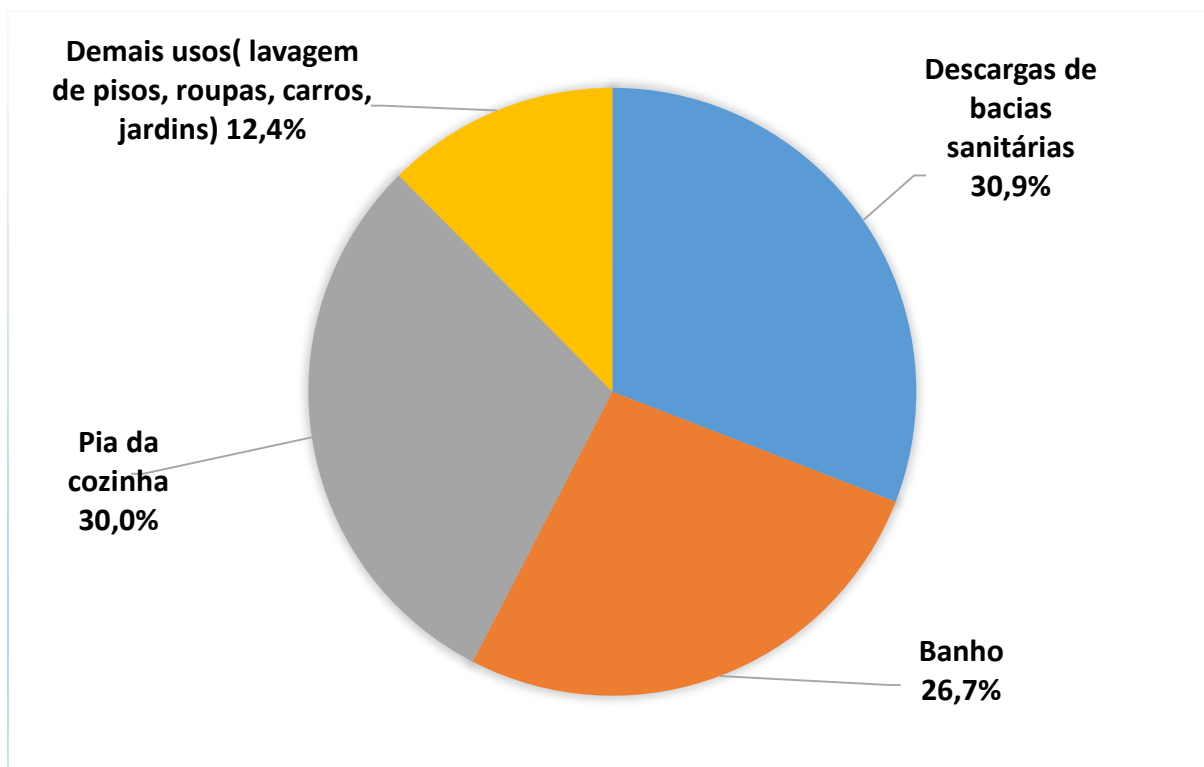
FONTE: ABNT NBR 5626:1998

De acordo com o Departamento de Águas e Esgoto de Caldas Novas (2019), dada as vazões de cada ponto de utilização, é possível saber uma base da quantidade de água consumida diariamente em cada ponto de água. Ainda segundo o departamento, num banho de chuveiro de 5 minutos, com o registro fechado ao se ensaboar, consome-se em média 45 litros de água. Já o vaso sanitário, quando livre de vazamentos, consome de 6 a 10 litros por vez. A máquina de lavar com capacidade de 5 quilos consome, normalmente, 135 litros. O jardim, por sua vez, quando recebe água por 10 minutos, pode chegar ao consumo de 186 litros, e uma simples lavagem de calçada ou de carro, gastam, respectivamente, 279 e 108 litros em 15 minutos.

O consumo doméstico de água em cada ponto de utilização é variável de acordo com o consumo *per capita* da região. Segundo Yoshimoto e Silva (2001), este consumo diário em cada ponto é medido em porcentagem, facilitando o cálculo do volume que possivelmente será consumido por cada pessoa. O gráfico 2 elenca, o consumo de cada ponto de utilização. O banheiro é o ponto de maior utilização, representando cerca de 57,6% (30,9% utilizados em bacias sanitária e 36,7% destinados para banho), a pia da cozinha representa 30% do consumo

e atividades como lavagem de roupas, limpeza de pisos, jardins e outros, representam os 12,4% restantes.

Gráfico 2- Contribuição de cada atividade ao consumo per capita

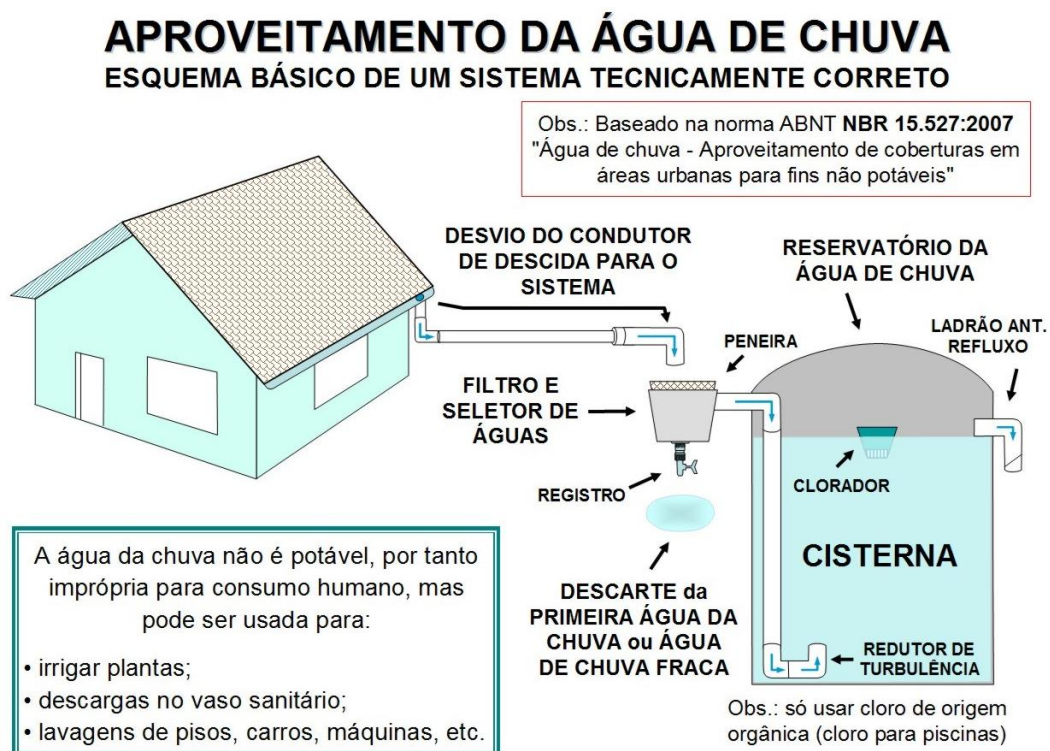


FONTE: ADAPTADO DE YOSHIMOTO E SILVA (2001)

2.7 Sistema de captação de água pluvial

O sistema de captação de água pluvial tem como objetivo fazer a captação, transporte e destinação final das águas pluviais. Ele é composto de área de contribuição, que é a soma das áreas das superfícies que recebe diariamente a água da chuva; calha, a responsável por recolher e conduzir as águas provenientes das áreas de contribuição para os condutores verticais e horizontais, que são responsável pela condução do fluido até os locais de destinação final, (ABNT, 1989). A destinação final poderá ser através de caixas de areia, valas de infiltração e sumidouros para infiltração da água no solo, rede de drenagem urbana ou reservada em cisternas para posterior reuso. A figura 03 mostra um sistema de captação, transporte e armazenamento.

Figura 3- Sistema de captação de água pluvial para reuso



FONTE: GOOGLE IMAGENS (2020)

2.7.1 Calhas e coletores

As calhas são as responsáveis pelo direcionamento da água pluvial para o ponto de destino, sendo dimensionadas de acordo com sua forma (ABNT,1989). Para este dimensionamento, a ABNT NBR 10844 (1989) recomenda o uso da fórmula de Manning-Strickler, que leva em consideração as seguintes variáveis: área, em metros quadrados, da seção molhada (S), o coeficiente de rugosidade, que varia de acordo com o material escolhido para confecção da calha (n); raio hidráulico, resultado do quociente entre área e perímetro molhados (R_h) e declividade da calha (i). A constante K tem valor correspondente a 60.000. Em resumo, a fórmula de Manning é expressa da seguinte forma:

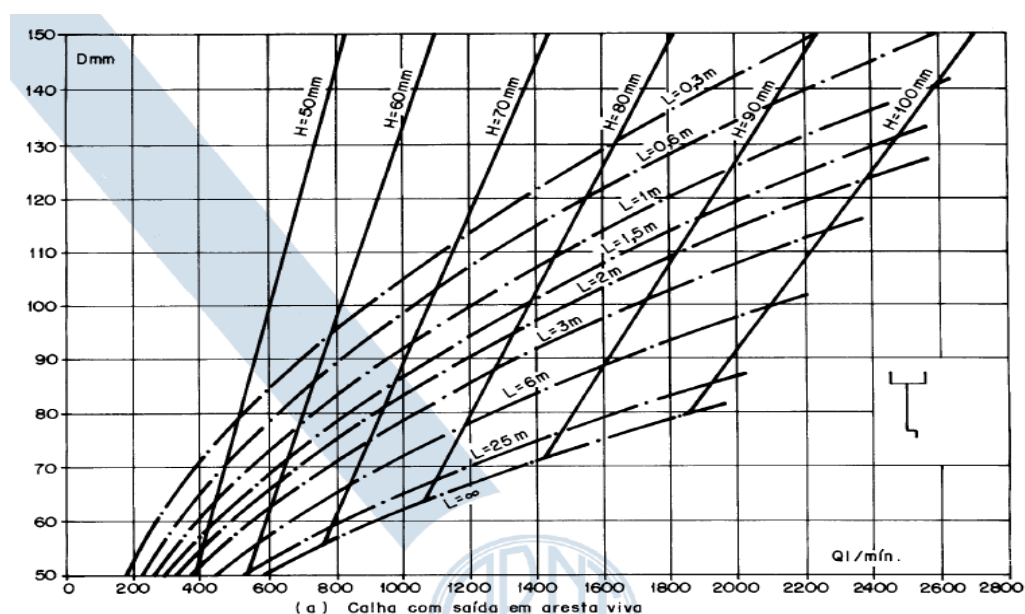
$$Q = K * \frac{S}{n} * R_h^{\frac{2}{3}} * \sqrt{i} \quad (1)$$

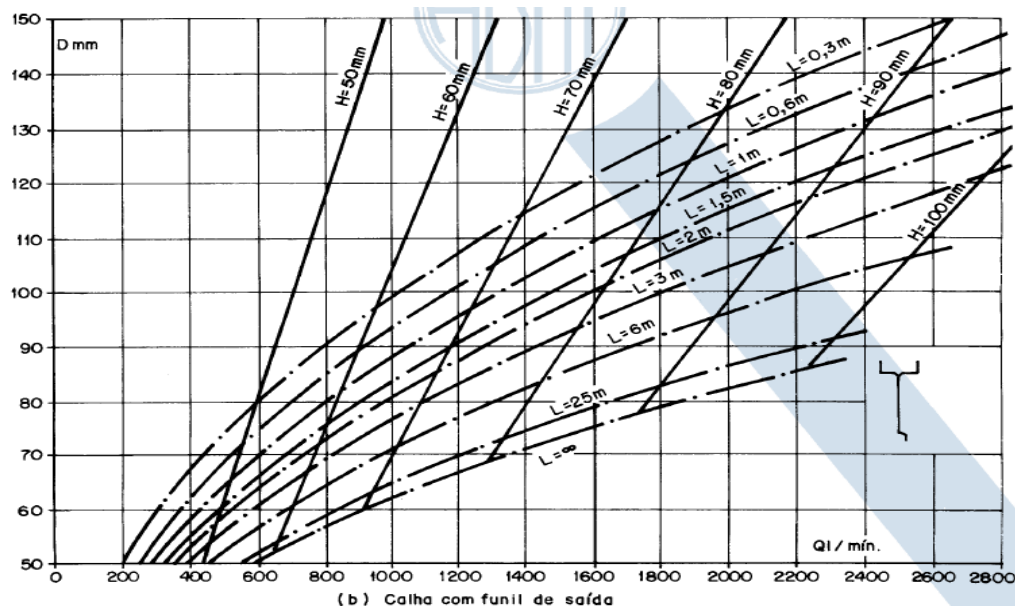
Tabela 3-Coeficientes de rugosidade

Material	n
plástico, fibrocimento, aço, metais não-ferrosos	0,011
ferro fundido, concreto alisado, alvenaria revestida	0,012
cerâmica, concreto não-alisado	0,013
alvenaria de tijolos não-revestida	0,015

FONTE: ABNT NBR10844:1989

Segundo a ABNT NBR 10844(1989), os condutores verticais são as tubulações responsáveis por recolher a água das calhas, coberturas e similares e conduzi-las à parte inferior do edifício. É recomendado que estejam em uma mesma prumada, evitando desvio. Porém, em casos em que isto não seja possível, devem ser usadas curvas 90° de raio longo, ou curvas 45°. O diâmetro destes condutores são obtidos através de ábacos, necessitando dos seguintes dados de entrada: vazão de projeto, calculada através de variáveis como a intensidade pluviométrica e área de captação, em L/min; altura da lamina de água na calha, em mm; comprimento do condutor vertical, em m; e o tipo de saída da calha/ condutor. Caso o valor de diâmetro encontrado seja inferior a 70mm, deve-se considerar o primeiro diâmetro maior ou igual a 70mm, já que este é o valor mínimo recomendado. Os ábacos da figura 4 abaixo são utilizados para este dimensionamento.

Figura 4-Ábacos para a determinação de diâmetros de condutores verticais



FONTE: ABNT NBR10844:1989

Os responsáveis pela coleta e condução das águas pluviais até os locais permitidos pelos dispositivos legais são denominados condutores horizontais. Estes devem possuir inclinação mínima de 0,5% de forma uniforme para que consiga cumprir sua função de forma efetiva. Além da inclinação mínima falada anteriormente, a ABNT NBR 10844 (1989) também recomenda que seja ocupado, no máximo, 2/3 do diâmetro desta tubulação. A figura 5 mostra a capacidade dos condutores horizontais levando em consideração declividade e coeficiente de rugosidade.

Figura 5- Capacidade de condutores horizontais de seção circular (vazões em L/min.)

	Diâmetro interno (D) (mm)	$n = 0,011$				$n = 0,012$				$n = 0,013$			
		0,5 %	1 %	2 %	4 %	0,5 %	1 %	2 %	4 %	0,5 %	1 %	2 %	4 %
1		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	50	32	45	64	90	29	41	59	83	27	38	54	76
2	75	95	133	188	267	87	122	172	245	80	113	159	226
3	100	204	287	405	575	187	264	372	527	173	243	343	486
4	125	370	521	735	1.040	339	478	674	956	313	441	622	882
5	150	602	847	1.190	1.690	552	777	1.100	1.550	509	717	1.010	1.430
6	200	1.300	1.820	2.570	3.650	1.190	1.670	2.360	3.350	1.100	1.540	2.180	3.040
7	250	2.350	3.310	4.660	6.620	2.150	3.030	4.280	6.070	1.990	2.800	3.950	5.600
8	300	3.820	5.380	7.590	10.800	3.500	4.930	6.960	9.870	3.230	4.550	6.420	9.110

FONTE: ABNT NBR10844:1989

2.7.2 Dispositivo de descarte das primeiras águas pluviais

O descarte da água proveniente das primeiras chuvas é essencial para a proteção sanitária da água armazenada nos reservatórios de reuso, pois a qualidade dela depende entre outros fatores, do ar atmosférico, impurezas depositadas na superfície das áreas de captação, entre outros (ANDRADE NETO, 2004). Para tanto, Almeida et al. (2016) afirma que os dispositivos de desvio das primeiras águas de chuva são indispensáveis para garantir a retenção das impurezas carregadas pela água da chuva durante todo o percurso. A NBR 15527:07(ABNT,2007) afirma que o volume do dispositivo de descarte das primeiras águas de chuva deve ser dimensionado pelo projetista. Porém, na falta de dados, ela recomenda que seja feito o descarte de 2mm da precipitação inicial. Para Andrade Neto (2013), 1 mm de descarte já é suficiente para a melhorar a qualidade da água captada, mantendo o padrão de potabilidade.

Pesquisadores da Universidade Federal de Pernambuco, campus Caruaru, desenvolveram o DesviUFPE, que é um dispositivo automático de desvio dos primeiros milímetros de água de chuva. O sistema é composto de materiais de simples acesso como tubos e conexões de PVC. O funcionamento é feito da seguinte maneira: à medida que ocorre a precipitação, a água desce pela calha em direção ao dispositivo, e quando os tubos estiverem completamente cheios, a água passa a ser direcionada para a cisterna (ARAÚJO,2017). As Figuras 6 e 7 mostram o esquema de instalação e funcionamento do dispositivo de desvio.

Figura 6 - Ilustração do sistema de reuso de água pluvial composto por A-telhado e calha, B-dispositivo de desvio DesviUFPE, C-cisterna



FONTE: ALVES (2014)

Figura 7 – Ilustração do funcionamento do DesviUFPE



FONTE: ADAPTADO DE CARVALHO ET AL. (2018)

De acordo com Araújo (2017), para o dimensionamento do dispositivo, são utilizados tubos e conexões de Policloreto de Vinila (PVC) de diâmetro 100mm. A fim de facilitar o dimensionamento deste, considera-se que cada tubo tenha 1m de comprimento. Sabendo que a área do tubo é dada por:

$$\text{Área circunferência (m}^2\text{)} = \pi \times (D^2/4) \quad (2)$$

Onde:

$$D=0,1\text{m.}$$

O Volume, que é o produto entre área da base (área da circunferência) e o comprimento do tubo, é expresso por:

$$V_{\text{tubo}} (\text{m}^3) = \pi \times (D^2/4) \times L_{\text{tubo}} \quad (3)$$

Onde:

$$L_{\text{tubo}}=1,0\text{m}$$

Têm-se:

$$V_{\text{tubo}} (\text{m}^3) = \pi \times (0,1^2/4) \times 1 \quad (4)$$

Portanto, o volume correspondente a 1m de tubo de PVC de 100mm equivale a 0,00785 m³ (7,85L).

Para determinar quantos tubos de 1m são necessários para atingir o volume de descarte previsto, é indispensável conhecer o tamanho da área de captação.

Considerando que será descartado a altura de 1mm de chuva, cada metro quadrado de área de captação corresponderá a 1L de volume destinado ao descarte (0,001m X 1m²=0,001m³=1L). Com isso, a quantidade de tubos é dada por:

$$V_{\text{descarte}} = \text{Área de captação (m}^2\text{)} \times V_{\text{descarte/área}} (\text{L/m}^2) \quad (5)$$

Achado este volume, o próximo passo é determinar a quantidade de tubos necessários para a montagem do dispositivo, utilizando a seguinte fórmula:

$$Q_{\text{nt. tubos}} = V_{\text{descarte}} / V_{\text{tubos}} \quad (6)$$

Como no dimensionamento do V_{tubos} foi considerado 1 m de tubo, a $Q_{\text{nt.tubos}}$ encontrados significa quantos pedaços de 1m são suficientes para alcançar o volume de descarte. Visto isso, o comprimento dos tubos ficará de acordo com o projetista, desde que respeite o comprimento final na hora da execução do desvio.

2.8 Métodos de dimensionamento de cisternas

Para o efetivo dimensionamento de uma cisterna, alguns fatores deverão ser levados em consideração, tais como: características pluviométricas (intensidade e frequência), área de captação, consumo *per capita* e quantos consumidores serão, além das perdas que ocorrem. Existem diversos métodos para o dimensionamento de cisternas, porém, em determinadas regiões, alguns deles não são convenientes em decorrência do regime pluviométrico local, entre outros fatores (SOUZA; ANDRADE NETO; MAIA, 2016).

No Brasil, o cálculo do volume dos reservatórios para reuso das águas pluviais de regiões urbanas é regido pela norma NBR 15227:2007. Nela estão contidos os seguintes métodos de dimensionamento: Rippl, da simulação, Azevedo Neto, prático alemão, prático inglês e o prático australiano. Além dos métodos indicados pela norma, há o método de Andrade Neto, que é bastante utilizado para o dimensionamento de cisternas em regiões de baixa e irregular pluviometria.

2.8.1 Método de Rippl

O método de Rippl é um método de dimensionamento de volume de cisternas que prevê a garantia do recurso mesmo estando no período mais crítico da estiagem, pois usa dados mensais ou diários para a previsão do volume esperado (ABNT,2007).

$$S(t) = D(t) - Q(t) \quad (7)$$

$$Q(t) = P(t) \times A \times C \quad (8)$$

$$V = \sum S(t), \text{ somente para valores } S(t) > 0$$

$$\text{Sendo que } \sum D(t) < Q(t)$$

Onde:

$S(t)$ = Volume de água no reservatório no tempo;

$Q(t)$ = Volume de chuva captada no tempo t ;

$D(t)$ = Demanda ou consumo no tempo t ;

$P(t)$ = Precipitação no tempo t ;

C = Coeficiente de escoamento superficial;

A = Área de captação;

V = Volume do reservatório

2.8.2 Método da simulação

Este método desconsidera a evaporação da água e obtém dados conforme o volume das cisternas variam, já que as hipóteses utilizadas para os cálculos levam em consideração o reservatório cheio no início da contagem do tempo e os dados histórico são representativos para as condições futuras (ABNT,2007).

$$S(t) = Q(t) + S(t-1) - D(t) \quad (9)$$

$$Q(t) = C \times \text{precipitação da chuva}(t) \times \text{área de captação} \quad (10)$$

Sendo que: $0 \leq S(t) \leq V$

Onde:

$S(t)$ = Volume de água no reservatório no tempo t ;

$S(t-1)$ = Volume de água no reservatório no tempo $t - 1$;

$Q(t)$ = Volume de chuva no tempo t ;

$D(t)$ = Consumo ou demanda no tempo t ;

V = Volume do reservatório fixado;

C = Coeficiente de escoamento superficial.

2.8.3 Método Azevedo Neto

Segundo ABNT(2007), neste método, o volume de chuva é obtido pela respectiva fórmula:

$$V = 0,042 \times P \times A \times T \quad (11)$$

Onde:

P = Precipitação média anual (mm);

T = Número de meses de pouca chuva ou seca;

A = Área de coleta em projeção (m²);

V = Volume de água aproveitável e o volume de água no reservatório (L).

2.8.4 Método prático alemão

Método empírico onde é denominado o valor mínimo do volume do reservatório. Este volume corresponde a 6% do menor valor entre o volume anual do consumo e o volume anual de precipitação aproveitável (ABNT,2007).

$$V(\text{adotado}) = \text{mín}(V; D) \times 0,06 \quad (12)$$

Onde:

V = Volume aproveitável de água de chuva anual (L);

D = Demanda anual da água não potável (L);

V(adotado) = Volume de água do reservatório (L).

2.8.5 Método prático inglês

De acordo com ABNT(2007), o volume de chuva é obtido por:

$$V = 0,05 \times P \times A \quad (13)$$

Onde:

P = Precipitação média anual (mm);

A = Área de coleta em projeção (m²);

V = Volume de água aproveitável e o volume de água da cisterna (L).

2.8.6 Método prático australiano

Considera, entre outros fatores, a interceptação da água que molha as superfícies e perdas por evaporação (ABNT,2007). O volume de chuva é obtido por:

$$Q = A \times C \times (P-I) \quad (14)$$

Onde:

C = coeficiente de escoamento superficial, geralmente 0,80;

A = área de captação (m²);

P= precipitação média mensal (m);

I = interceptação da água que molha as superfícies e perdas por evaporação, geralmente 2 mm;

Q= volume mensal produzido pela chuva (m³).

Já o volume do reservatório é calculado por tentativas até que sejam utilizados valores otimizados de confiança e volume do reservatório.

$$V(t)=V(t-1) + Q(t) - D(t) \quad (15)$$

Onde:

V(t)= volume de água que está no tanque no fim do mês t;

Q(t)= volume mensal produzido pela chuva no mês t;

V(t-1) = volume de água que está no tanque no início do mês t ;

D(t)= demanda mensal;

Cálculo da confiança do sistema:

$$Pr = Nr/N \quad (16)$$

$$\text{Confiança} = (1-Pr) \quad (17)$$

Onde:

Pr= falha;

Nr= número de meses em que o reservatório não atendeu à demanda, isto é, quando $V_t = 0$;

N = número de meses considerado, geralmente 12 meses.

Recomenda-se que os valores de confiança estejam entre 90% e 99%

2.8.7 Método de Andrade Neto

Este método constitui um balanço hídrico. O dimensionamento do volume do reservatório leva em consideração a distribuição de chuva ao longo do ano, que reflete na capacidade de captação da água de chuva e a definição dos meses consecutivos com déficit, baseado no cálculo da precipitação mensal crítica necessária para atender a demanda (ANDRADE NETO, 2015). A confiabilidade deste método está exclusivamente ligada à base de dados pluviométricos utilizada.

O cálculo do volume potencial de captação anual é feito da seguinte forma:

$$V_{cap} = A_c \times Prec \times C.Apr \quad (18)$$

Onde:

A_c =Área de captação (área de contribuição) (m^2);

Prec=Precipitação total anual;

C.Apr= Coeficiente de aproveitamento, geralmente considerado 80%;

A precipitação crítica é calculada da seguinte forma:

$$P_{cri} = Cons.M / (A_c \times C.Apr) \quad (19)$$

Onde:

Cons.M= Consumo mensal da família que usufruirá da água reservada;

Achados os valores calculados pelas equações acima, o volume da cisterna será:

$$V_{cisterna} = (Qnt. \text{ meses deficitários} \times Cons.M) - (Prec.total \text{ nos meses deficitários} \times A_c \times C.Apr) \quad (20)$$

Segundo Silva (2018), este método é uma sistematização do método de Rippl, porém o seu maior diferencial é a inserção da variável a precipitação crítica, variável esta de suma importância para o efetivo dimensionamento das cisternas. Por considerar a precipitação crítica, o método de Andrade Neto foi desenvolvido para regiões semiáridas, adequando-se perfeitamente a regiões com precipitação média acumulada anualmente inferiores a 1000mm e com distribuição irregular de precipitação ao longo do ano.

3 METODOLOGIA DA PESQUISA

3.1 Delineamento da pesquisa

Com o objetivo de propor um sistema de reuso de água de chuva para uma residência unifamiliar, padrão médio, no interior do Rio Grande do Norte, a presente pesquisa buscou o método que mais se adequa ao dimensionamento de Cisternas para a região e, a partir disto, analisar a viabilidade de implantação do sistema de reuso de águas pluviais, no intuito de reduzir o consumo de água potável para usos não nobres, além de reduzir, consequentemente, o uso de água fornecido pela concessionária local.

Para a realização desse trabalho, primeiramente foi realizada uma pesquisa bibliográfica em normas técnicas, livros, artigos científicos, reportagens de jornais e monografias, no intuito de embasar teoricamente as temáticas abordadas. Segundo Flick (2012), essa é a fase inicial de uma pesquisa científica e possui fundamental importância as etapas posteriores, que serão consequências desta.

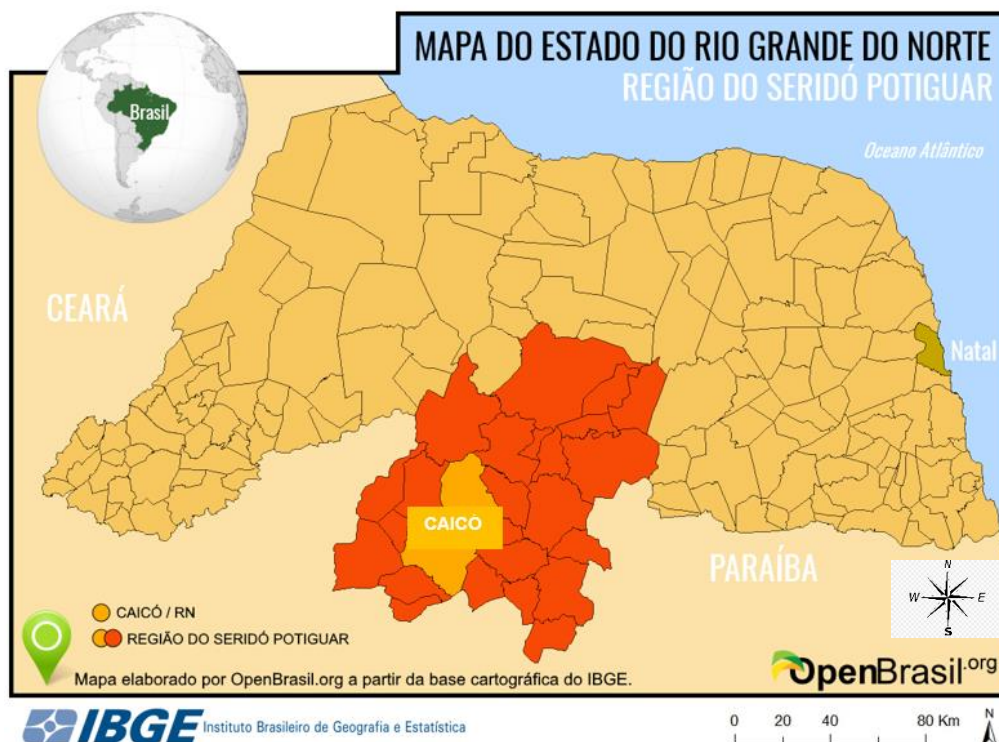
3.2 Área de estudo

A pesquisa foi realizada na Cidade de Caicó, interior do Rio Grande do Norte, no período de outubro de 2019 a janeiro de 2020. Foi desenvolvida com o objetivo de analisar os dados pluviométricos da região e, a partir disto, encontrar o método de dimensionamento de cisternas, que mais se adequa as necessidades da edificação e a pluviometria regional.

3.2.1 A cidade de Caicó/RN

Caicó é um município localizado a aproximadamente 280 km de Natal, a capital do estado. Possui 1.228,583 km² de unidade territorial, aproximadamente 62.709 habitantes e clima predominantemente semiárido. Está a uma altitude de 158m com relação ao nível do mar e possui pluviometria média de 626,47mm/ano (IBGE,2020).

Figura 8- Localização geográfica do município de Caicó no estado do Rio Grande do Norte



FONTE: ADAPTADO DE OPENBRASIL (2020)

3.2.2 Regime Pluviométrico da cidade de Caicó

O estudo do regime pluviométrico da cidade é essencial para o dimensionamento eficaz do sistema. Para isso, foi pesquisado os dados pluviométricos da cidade de Caicó no site do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), onde foi possível fazer o levantamento da série histórica de eventos pluviométricos no período de 2010 a 2019.

De posse dos dados pluviométricos e com o auxílio do software Excel, foi possível calcular as precipitações médias da cidade de Caicó para o período em questão.

3.2.3 Áreas de captação

Nesse trabalho, a área de captação de água de chuva a ser considerada para o dimensionamento do sistema de reaproveitamento foi a cobertura da residência. Com base no projeto arquitetônico, foi possível levantar dados como: tipo de material do telhado, para a escolha do coeficiente de escoamento superficial, a inclinação do telhado e as cotas para o cálculo das áreas.

A vazão de projeto necessária para o dimensionamento das calhas, condutores verticais e horizontais foi calculada com base na NBR 10844 – Instalações Prediais de Águas Pluviais. Segunda a NBR, o cálculo da vazão de projeto pode ser calculado através da seguinte equação:

$$Q = (I \cdot A) / 60 \quad (21)$$

Onde:

Q = Vazão de projeto, em L/min

I = intensidade pluviométrica, em mm/h

A = área de contribuição, em m²

3.2.4 Dimensionamento de calhas e condutores

Para o dimensionamento em geral, foram considerados, tomando como base a NBR 10844: tempo de retorno de 5 anos (recomendado para coberturas e/ou terraços); duração de precipitação de 5min; intensidade pluviométrica 131,81mm/h (intensidade pluviométrica de Caicó, para um período de retorno de 5 anos, segundo Silva et al.(2018)); coeficiente de rugosidade 0,012 (devido se tratar de uma calha de concreto alisado); e, para o dimensionamento dos condutores verticais, considerou-se calha com saída em arestas vivas e comprimento igual a 5m . Para o dimensionamento da calha, foi adotada as medidas da calha existente no projeto arquitetônico, sendo necessário verificar se a vazão que essa calha suporta é maior do que vazão de projeto, ou seja, a vazão captada na cobertura da residência.

3.2.5 Consumo de água

Para a estimativa do consumo de água da residência foi consultado o valor do consumo per capita para a cidade de Caicó, o dado com o valor do consumo per capita foi retirado do site do SNIS. Depois disso, foi pesquisado qual o valor referente, em porcentagem, a cada tipo de uso da água. Para isso, foi pesquisado trabalhos a respeito do assunto, no entanto, não foi encontrado estudos a respeito de caracterização de consumo de água para a cidade. Dessa forma, foi adotado os valores de consumo de água encontrados na pesquisa de Santos(2015), que retrata o reuso da água no contexto do Plano Nacional de Recursos Hídricos.

3.3 Dimensionamento do reservatório

Depois de analisar diversos métodos de dimensionamento de cisternas, chegou-se à conclusão de que o mais adequado para a presente pesquisa é o de Andrade Neto pois o autor faz a consideração de perdas do sistema, períodos de precipitação crítica, demanda, área de captação, entre outras variáveis que são consideradas essenciais para atender o objetivo da pesquisa.

A escolha do método de dimensionamento se justifica também pelas considerações de SILVA (2018), que após um estudo de dimensionamento de cisternas, chegou à conclusão que esse método apresenta melhor adequabilidade com base na obtenção de eficiências e volumes razoáveis para a distribuição de chuvas simuladas.

3.4 Dimensionamento do dispositivo de desvio das primeiras águas

O volume necessário para o efetivo dimensionamento do dispositivo de desvio, foi encontrado de acordo com a área de captação do telhado pois, a cada m^2 de área é necessário o descarte 1L de água. Sabendo que cada 1 metro de tubo de 100mm possui volume de 7,85L, o somatório do comprimento total de tubos foi encontrado através da divisão entre a área do telhado e o volume de cada metro de tubo.

4 RESULTADOS

4.1 Dimensionamento do sistema de reuso

- Distribuição da precipitação anual na cidade de Caicó

A distribuição da precipitação ao longo dos meses é um fator bastante relevante para o dimensionamento do reservatório através do método de Andrade Neto. Com isso, a tabela 4 mostra a distribuição da precipitação acumulada mensal ao longo de todo o ano.

Tabela 4- Precipitação acumulada em cada mês do ano, nos últimos 10 anos.

	2010	2011	2012	2013	2014
Janeiro	107,9mm	98,6mm	65,2mm	24,3mm	95,4mm
Fevereiro	51,3mm	203,1mm	69,3mm	6,8mm	42,5mm
Março	108,7mm	114,2mm	18,5mm	95,2mm	153,0mm
Abril	175,1mm	269,6mm	0,8mm	161,2mm	244,1mm
Maio	46,2mm	222,0mm	1,5mm	96,2mm	102,2mm
Junho	56,4mm	14,9mm	44,3mm	45,8mm	11,5mm
Julho	3,7mm	37,3mm	0,0mm	20,9mm	7,0mm
Agosto	0,0mm	0,6mm	0,0mm	2,1mm	0,0mm
Setembro	6,2mm	0,0mm	0,0mm	0,0mm	8,0mm
Outubro	93,2mm	3,3mm	0,0mm	0,0mm	2,1mm
Novembro	0,0mm	0,3mm	0,6mm	85,1mm	5,4mm
Dezembro	52,0mm	1,9mm	0,0mm	60,0mm	0,0mm

	2015	2016	2017	2018	2019
Janeiro	7,5mm	234,9mm	17,1mm	26,1mm	95,9mm
Fevereiro	59,6mm	128,4mm	216,7mm	186,4mm	141,5mm
Março	126,5mm	74,7mm	172,8mm	161,9mm	131,9mm
Abril	161,0mm	98,7mm	131,0mm	352,2mm	188,8mm
Maio	3,7mm	22,7mm	49,9mm	44,8mm	114,4mm
Junho	12,8mm	21,9mm	11,0mm	7,5mm	39,3mm
Julho	19,7mm	0,0mm	14,0mm	0,0mm	35,3mm
Agosto	2,5mm	0,0mm	1,6mm	0,0mm	3,7mm
Setembro	0,0mm	3,4mm	0,0mm	0,0mm	0,0mm
Outubro	0,0mm	0,0mm	0,0mm	0,3mm	0,4mm
Novembro	0,0mm	0,0mm	0,0mm	0,0mm	0,0mm
Dezembro	6,3mm	7,1mm	0,0mm	20,0mm	0,7mm

FONTE: ADAPTADO DE INMET(2020)

Tabela 5-Cálculo da área total de captação

ÁREA DE CAPTAÇÃO				
Subáreas	Comprimento	Largura	Inclinação	Área
A.tampa	3,30m	1,65m	-	5,45m ²
A1	9,10m	3,15m	9%	28,78m ²
A2	4,25m	2,55m	9%	10,88m ²
A3	3,75m	3,60m	9%	13,55m ²
A4	7,35m	4,10m	9%	30,26m ²
A5	3,75m	3,60m	9%	13,55m ²
Total				102,47m²

FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2020)

- Dimensionamento de calhas e condutores

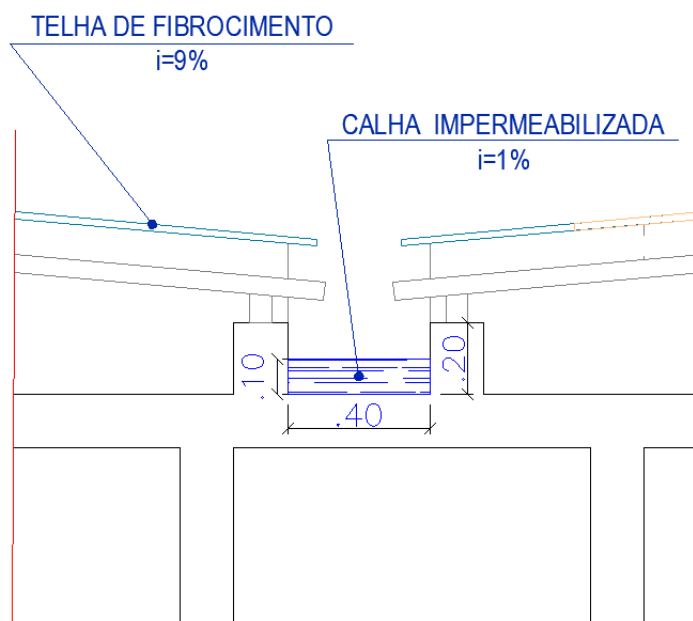
Para dar início ao dimensionamento do sistema de redirecionamento da água da chuva, é preciso calcular a vazão de projeto considerada. Como visto, esta vazão é calculada considerando os seguintes dados: $I=131,81\text{mm/h}$ e $A=102,47\text{m}^2$

$$Q_{\text{projeto}} = (I \cdot A) / 60 \quad (22)$$

$$Q_{\text{projeto}} = (131,81 \cdot 102,47) / 60$$

$$Q_{\text{projeto}} = 225,11 \text{ L/min}$$

No dimensionamento da calha e dos condutores foram aproveitados dados do projeto arquitetônico, como, por exemplo, as dimensões da calha, sendo necessário verificar a vazão da mesma para saber se estas medidas pré-estabelecidas atendem à demanda da área de captação. A figura 10 ilustra a calha e suas dimensões internas.

Figura 10- Calha em concreto liso

FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2020)

Para o dimensionamento desta, foi usada a fórmula de Manning, indicada a seguir:

$$Q_{calha} = K * \frac{S}{n} * R_h^{\frac{2}{3}} * \sqrt{i} \quad (23)$$

$$Q_{calha} = 60.000 * \frac{0,04}{0,012} * 0,067^{\frac{2}{3}} * \sqrt{0,01}$$

$$Q_{calha} = 3299,23 \text{ L/min}$$

Onde:

$$K=60.000$$

$$S=0,04\text{m}^2$$

$$P=0,60\text{m}$$

$$R_h=S/P=0,067\text{m}$$

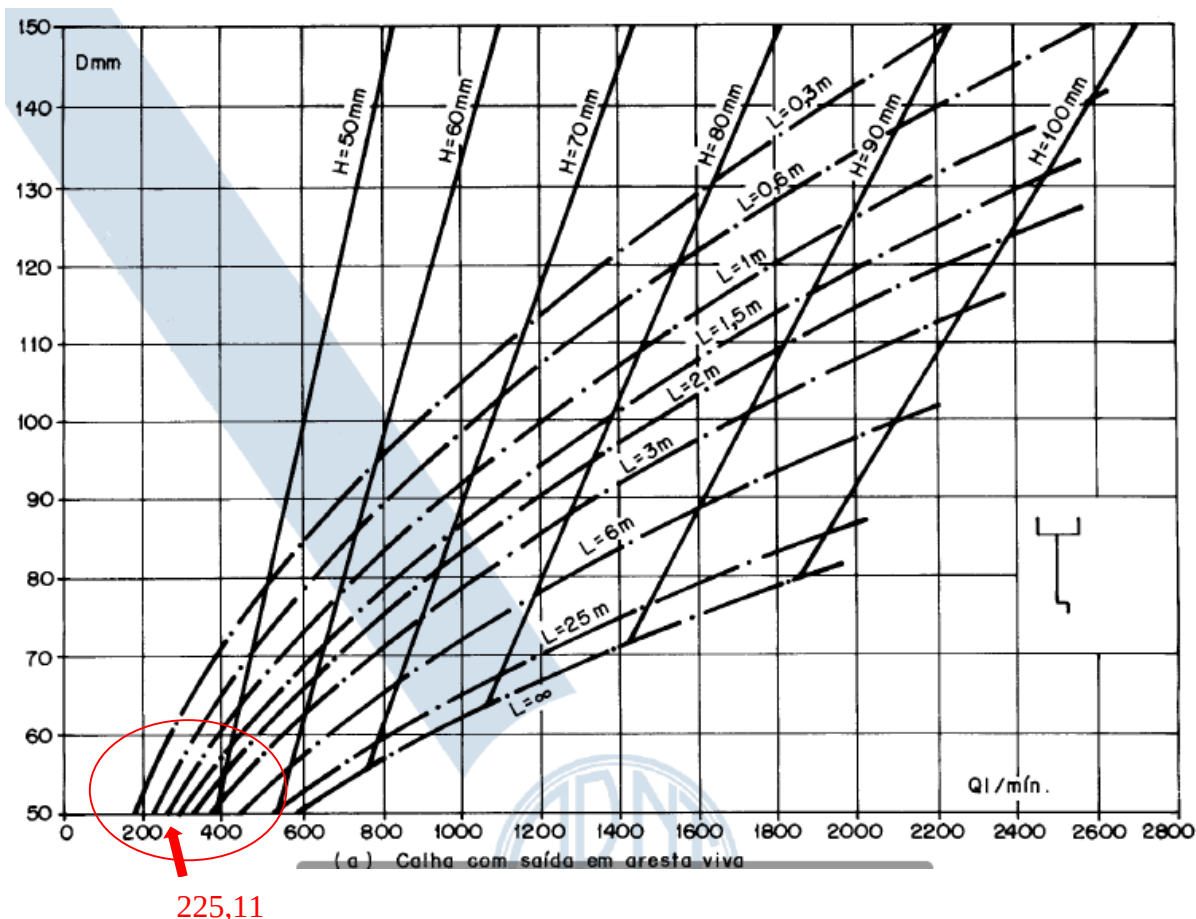
$$n=0,012$$

$$i=0,01\text{m/m}$$

Visto que a vazão de projeto é bem menor que a vazão que a calha comporta, as medidas pré-estabelecidas no projeto arquitetônico atendem à demanda de projeto.

O diâmetro do condutor foi dimensionado levando-se em consideração a vazão de projeto ($Q_{\text{projeto}}=225,11\text{L/min}$), altura da lâmina de água na calha ($H=100\text{mm}$), comprimento do condutor vertical ($L=5\text{m}$) e o tipo de saída da calha que, no caso deste trabalho, é aresta viva.

Figura 11 –Dimensionamento do diâmetro para o condutor vertical do sistema



FONTE: ADAPTADO DE ABNT (1989)

Em caso de dimensionamento no qual o diâmetro encontrado seja menor que diâmetro interno= 70mm, a NBR10844 recomenda o uso de tubulações com diâmetro maior ou igual ao citado. Para o projeto, foram utilizados tubos de 100mm devido a necessidade de desvios na prumada da tubulação causadas pela locação de uma das vigas do projeto estrutural. Este diâmetro foi escolhido para evitar zonas de alta pressão causadas pela grande vazão de água pluvial.

- Demanda residencial

A utilização da água de chuva para fins não potáveis é feita através do reuso deste fluido em bacias sanitárias, lavagem de pisos, carros e para regar jardins. Assim, o consumo per capita na cidade de Caicó é de 104,1l/hab/dia. Dentro desse consumo, cerca de 32 % é utilizado para fins não potáveis, como os citados acima, sendo utilizados 33L de água tratada e potável para fins não nobres.

Considerando que a residência em questão é habitada por 4 pessoas, o consumo diário de água que não requer uma qualidade maior é de 132L. Considerando um mês de 30 dias, o consumo mensal é 3960L, podendo variar pra mais ou pra menos.

- Sistema de descarte das primeiras águas de chuva.

Para o cálculo do volume de água de chuva a ser descartado, a variável é a área do telhado. Visto que a área de captação é de 102,47m² e o volume de descarte/área é 1 l/m², o volume de descarte será calculado da seguinte forma:

$$\begin{aligned} V_{\text{descarte}} &= \text{Área de captação (m}^2\text{)} \times V_{\text{descarte/área (l/m}^2\text{)}} \\ V_{\text{descarte}} &= 102,47 \text{ (m}^2\text{)} \times 1 \text{ (l/m}^2\text{)} \\ V_{\text{descarte}} &= 102,47 \text{ L} \end{aligned} \quad (24)$$

Sabendo que cada metro de tubo de 100mm de PVC possui o volume de 7,854L, a metragem de tubo necessário para comportar esse volume é:

$$\begin{aligned} \text{Qnt. tubos} &= V_{\text{descarte}} / V_{\text{tubos}} \\ \text{Qnt. tubos} &= 102,74(\text{L}) / 7,85(\text{L/m}) \\ \text{Qnt. tubos} &= 13\text{m} \end{aligned} \quad (25)$$

Achada a quantidade de metros de tubo necessários, resta dividir a metragem total pelo comprimento escolhido, resultando em 8 tubos de 1,6m.

- Dimensionamento do reservatório pelo método de Andrade Neto

Para dar início ao dimensionamento da cisterna, é preciso alguns dados como: área de captação do sistema ($A_c=102,47\text{m}^2$), precipitação total anual ($P_{\text{rec}}=614,1\text{mm}$), coeficiente de aproveitamento ($C_{\text{Apr}}=0,8$) e o consumo mensal ($\text{Cons.M}=3960\text{L}$).

Primeiramente calculou-se o volume potencial de captação, achado através da respectiva equação:

$$\begin{aligned} V_{\text{cap}} &= A_c \times P_{\text{rec}} \times C_{\text{Apr}} & (26) \\ V_{\text{cap}} &= 102,47 \times 0,6141 \times 0,8 \\ V_{\text{cap}} &= 50,34\text{m}^3 \end{aligned}$$

Depois foi calculada a precipitação crítica, pela equação:

$$\begin{aligned} P_{\text{cri}} &= \text{Cons.M} / (A_c \times C_{\text{Apr}}) & (27) \\ P_{\text{cri}} &= 3,96 / (102,47 \times 0,8) \\ P_{\text{cri}} &= 0,048\text{m ou } 48\text{mm} \end{aligned}$$

Achados os valores do volume potencial de captação e da precipitação crítica, o volume da cisterna será:

$$\begin{aligned} V_{\text{cisterna}} &= (\text{Qnt. m. defic.} \times \text{Cons.M}) - (P_{\text{rec. total nos meses deficitários}} \times A_c \times C_{\text{Apr}}) & (28) \\ V_{\text{cisterna}} &= (8 \times 3,96) - (0,0437 \times 102,47 \times 0,8) \\ V_{\text{cisterna}} &= 28,1\text{m}^3 \end{aligned}$$

Onde:

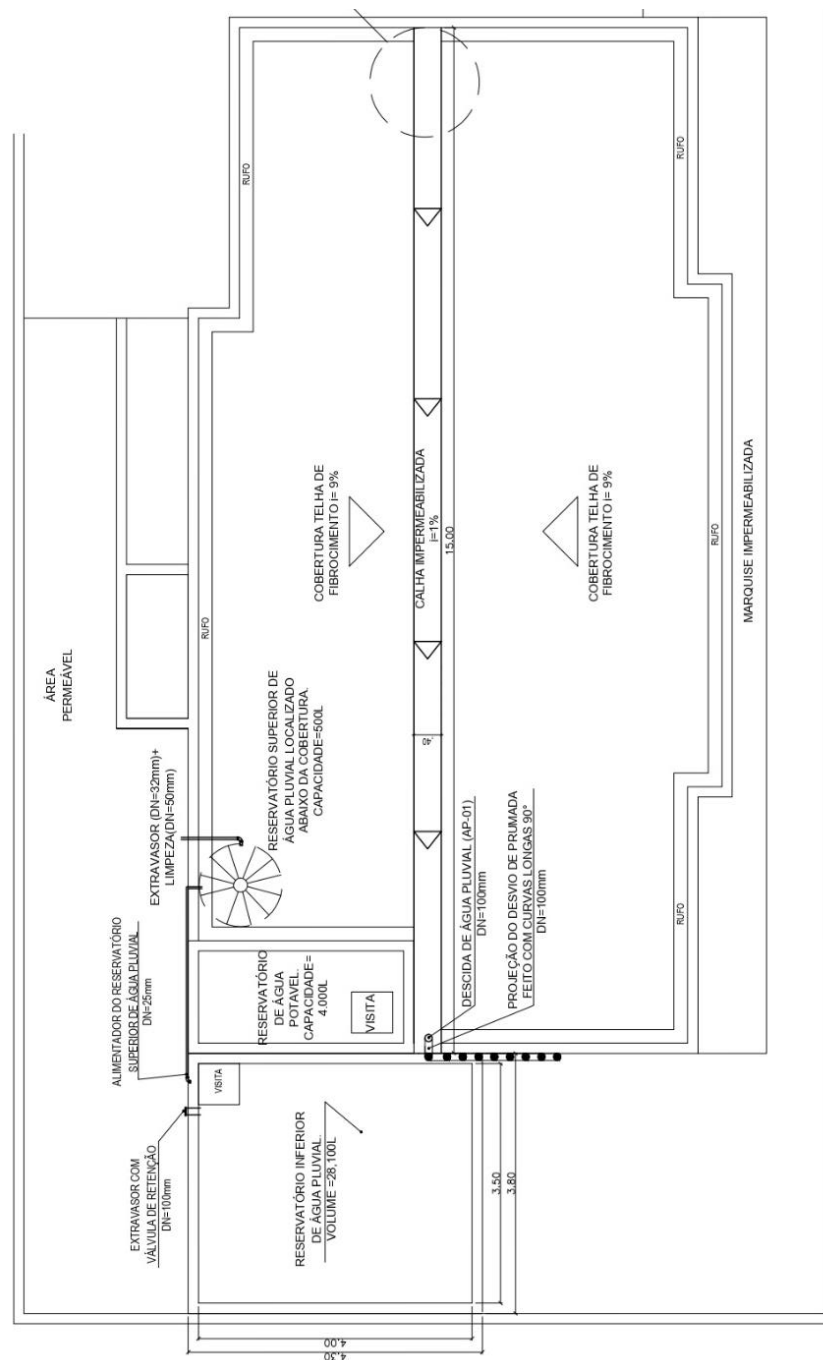
- Qnt. m. defic.= serão os meses em que a precipitação mensal acumulada é inferior a precipitação crítica. Portanto, os meses de déficit serão: janeiro, junho, julho, agosto, setembro, outubro, novembro e dezembro

Portanto, para suprir a necessidade mensal de $3,96\text{ m}^3$, é necessário executar a cisterna com volume de reservação igual a $28,1\text{ m}^3$.

4.2 Projeto de captação de águas pluviais

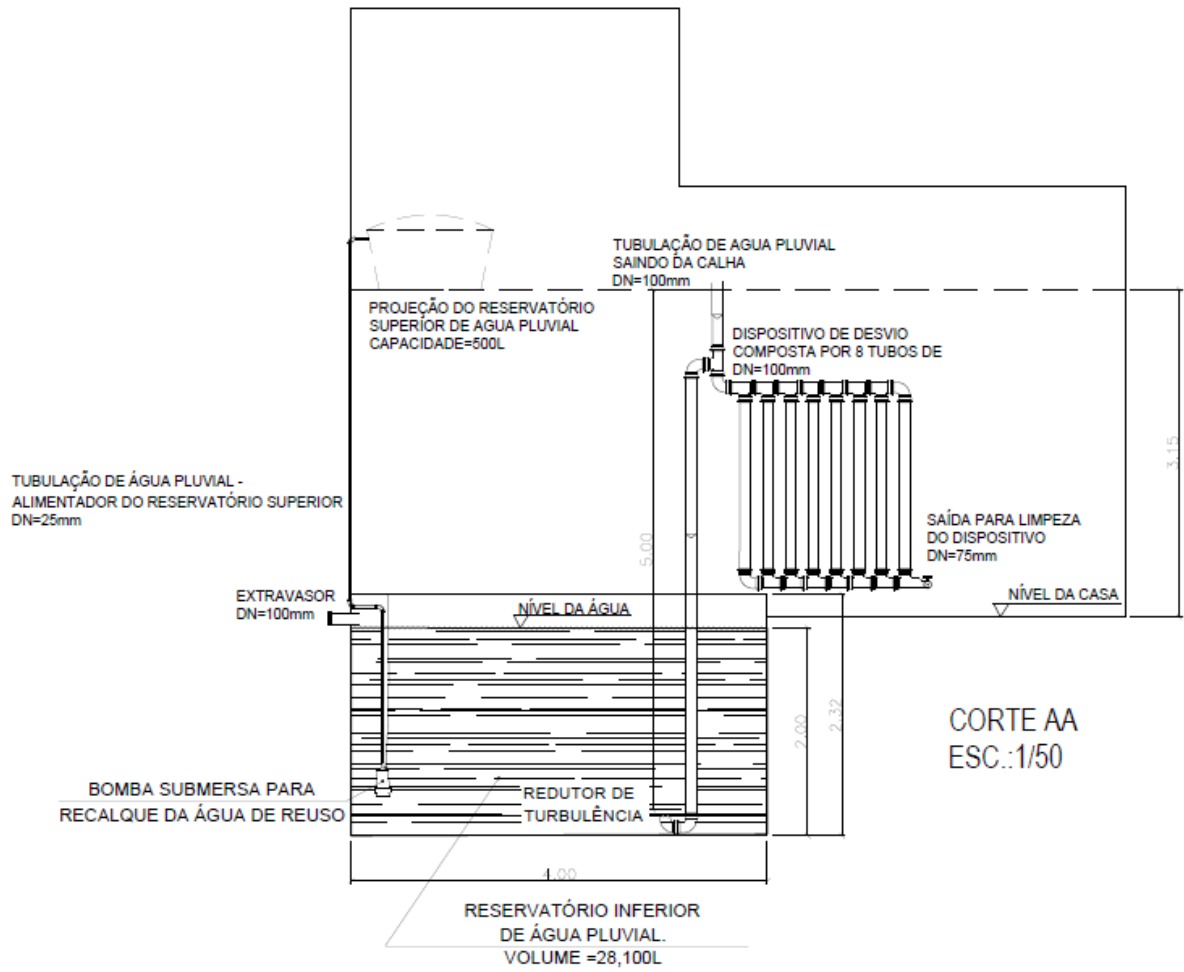
As figuras 12,13 e 14 mostram, respectivamente, todo o esboço do funcionamento do sistema de reuso de águas pluviais, que vai desde a captação, descarte do volume referente ao primeiro mm de chuva, reservação e condução da água pluvial aos pontos de utilização.

Figura 12- Planta de cobertura



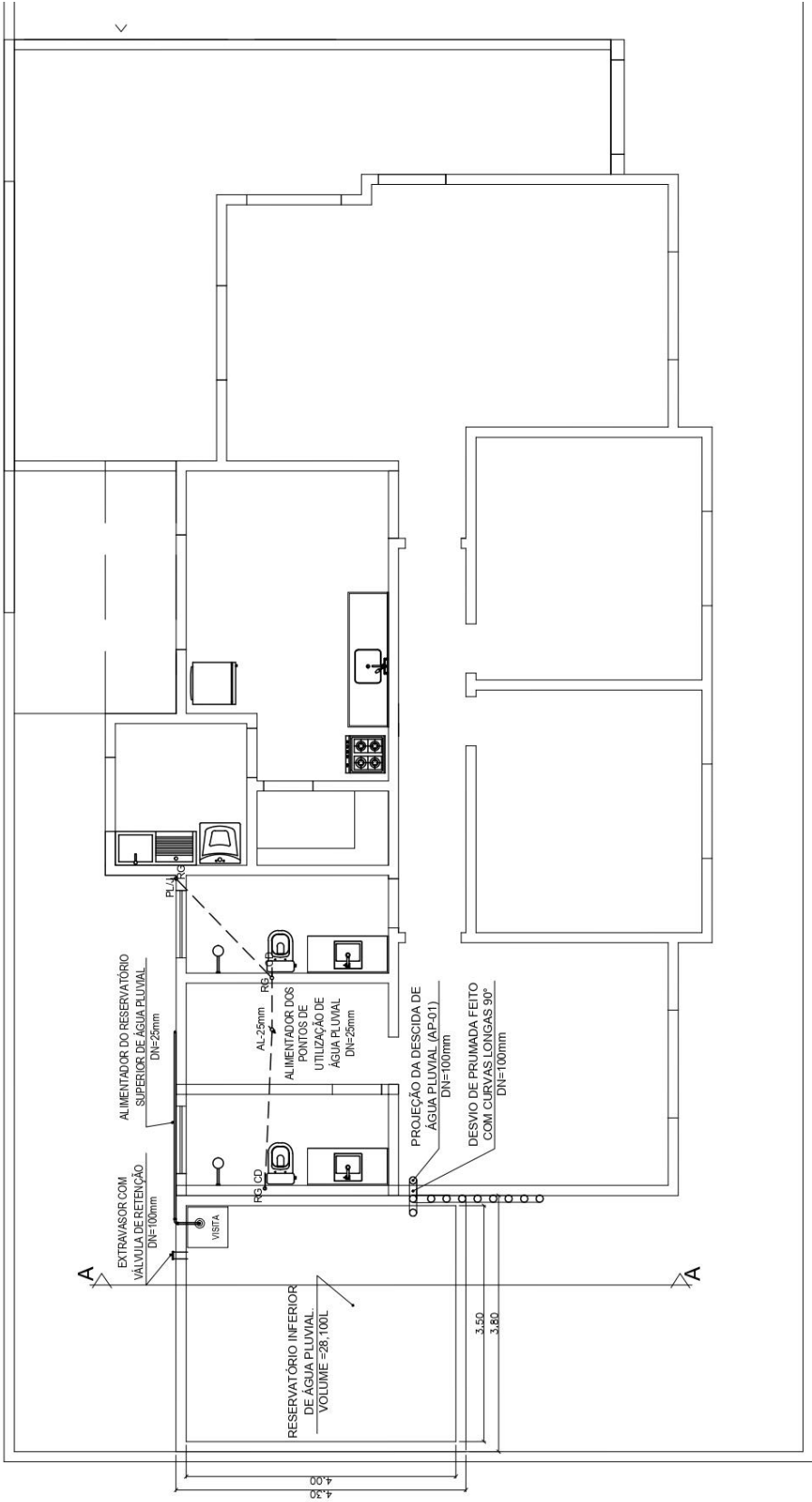
FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2020)

Figura 13- Corte AA: dispositivo de desvio e sistema de reuso de água pluvial



FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2020)

Figura 14- Planta baixa do sistema de reuso



FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2020)

5 CONCLUSÃO

A implantação do sistema de reuso de água da chuva tem o intuito de reduzir o desperdício de água precipitada, reduzir a quantidade de água direcionada para as obras de infraestrutura de drenagem, gerar impactos ambientais positivos e promover a cultura do reuso de água de chuva através de um simples sistema de captação, armazenamento e distribuição.

A presente pesquisa teve como objetivo propor um sistema de captação de água pluvial para fins de reuso, a partir da criação e execução do projeto, chegou-se aos seguintes resultados:

- Confecção de um sistema de captação de água pluvial composto por uma calha com tamanho de 0,4 por 15,0 m e condutor vertical de 100mm
- Confecção de um sistema de desvio de águas de primeiras chuvas, composto por 8 tubos de 1,6 metros de comprimento;
- Dimensionamento de um reservatório para armazenamento da água da chuva captada com capacidade de 28,1m³.
- Locação dos pontos de utilização da água pluvial como alternativa de reduzir o consumo de água tratada para os fins não nobres

A partir desse estudo, espera-se que, se as ideias do projeto forem aplicadas, haja uma redução do desperdício de água potável, com uma economia de até 32% do total de água consumida na residência. Essa economia pode ser considerada expressiva, e poderia gerar uma diferença na quantidade de dinheiro gasto, que poderia ser investido em outras demandas, e na própria preservação desse recurso natural tão precioso.

As principais limitações dessa pesquisa foram com relação aos dados de consumo nos pontos de utilização, pois as literaturas diferiam bastante neste sentido.

Como sugestão para futuras pesquisas, seria importante realizar o estudo de caracterização de consumo de água doméstico para a cidade de Caicó, assim como o tempo de retorno do investimento feito com o sistema de reuso.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. **Água no mundo**. Disponível em: <<https://www.ana.gov.br/panorama-das-aguas/agua-no-mundo>>. Acesso em: 05 out. 2019.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. **Quantidade da água**. Disponível em: <<https://www.ana.gov.br/panorama-das-aguas/quantidade-da-agua>>. Acesso em: 05 out. 2019
- AGORA RN. **Sistema de abastecimento de água de Caicó é agora o mais moderno do RN**, (2018). Disponível em: <https://agorarn.com.br/regionais/sistema-de-abastecimento-de-agua-de-caico-e-agora-o-mais-moderno-do-rn/> Acesso em: 28/01/20.
- ALMEIDA, A. J. G. A. et al. **Avaliação de desempenho de distintos dispositivos para desvio automático dos primeiros milímetros da água de chuva**. In: Simpósio Brasileiro De Captação E Manejo De Água De Chuva, 10., 2016, Belém. **Artigo**. Belém: S.i, 2016. p. 1 - 6.
- ALVES, F.; KOCHLING, T.; LUZ, J.; SANTOS, S. M.; GAVAZZA, S. Water quality and microbial diversity in cisterns from semiarid areas in Brazil. **Journal of Water and Health**, v. 12, n. 3, p. 513- 525, 2014
- ANDRADE NETO, C. O. Aproveitamento imediato da água de chuva. GESTA: **Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais**. n. 1. v. 1. p. 067-080. Data de acesso: 17 nov 2019. 2013.
- ANDRADE NETO, C. O. Notas de aula. Departamento de Engenharia Civil, UFRN. **Reserva de água em cisternas**. 2015.
- ANDRADE NETO, C. O. **Proteção Sanitária das Cisternas Rurais**. XI Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Anais ABES/APESB/APRH: Natal – RN, Brasil, 2004.
- ARAÚJO, L. F. **Desviufpe como barreira sanitária para melhoria da qualidade de água de chuva em zona rural**: determinação de deposição seca e melhoria de desempenho. 2017. 74 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Pernambuco, Caruaru, 2017.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10844**: Instalações prediais de águas pluviais. Rio de Janeiro: S.i, 1989. 13 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15527**: Água de chuva - Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis - Requisitos. Rio de Janeiro: S.i, 2007. 8 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5626**: Instalação predial de água fria. Rio de Janeiro: S.i, 1998. 41 p.

BARROS, F. G. N.; AMIN, M. M. Água: um bem econômico de valor para o Brasil e o mundo. **Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional**, Taubaté, v. 4, n. 1, p.75-108, abr. 2008. Disponível em: <<https://rbgdr.net/revista/index.php/rbgdr/article/view/116/106>>. Acesso em: 05 jan. 2020.

BOTIN, L. Mostra itinerante reforça a importância da água para o planeta. **Ciência e Cultura**, v. 59, n. 3, p. 17-17, 2007.

BRITO, L. T. L. **Cadernos do semiárido**: A água de chuva como potencial para aumentar a disponibilidade hídrica no semiárido brasileiro. 2. ed. Recife: N/a, 2017. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1098448/1/CADERNODOSEMIARIDO11.pdf>>. Acesso em: 11 out. 2019.

CARVALHO, José Roberto Santo de et al. A PVC-pipe device as a sanitary barrier for improving rainwater quality for drinking purposes in the Brazilian semiarid region. **Journal Of Water And Health**. Londres, p. 391-402. 12 fev. 2018.

DEMAE. **Consumo de água**. Disponível em: <<https://www.dema.gov.br/projetos/consumo-de-agua/>>. Acesso em: 10 jan. 2020.

FLICK, Uwe. **Introdução à metodologia de pesquisa: um guia para iniciantes**. Penso Editora, 2012.

GOOGLE. **Aproveitamento da água de chuva**: esquema básico de um sistema tecnicamente correto. Esquema básico de um sistema tecnicamente correto. Disponível em: <https://www.google.com/search?q=cisternas+urbanas&rlz=1C1CHZL_pt-BRBR838BR839&sxsrf=ACYBGNQjjc_xqQ5IF13BE5JJs-7u49FEww:1580072569430&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=2ahUKEwiDleGBLaLnAhXXHrkGHeQVB20Q_AUoAXoECA0QAw&biw=1517&bih=640&dpr=0.9#imgsrc=kPAUN4JzaVdu4M:>>. Acesso em: 24 jan. 2020.

G1 RN. **Abastecimento de água de Caió, RN, passa a ser feito pelo açude Itans**, (2016). Disponível em: <http://g1.globo.com/rn/rio-grande-do-norte/noticia/2016/05/abastecimento-de-agua-de-caico-rn-passa-ser-feito-pelo-acude-itans.html> Acesso em: 28/01/20

HESPAHOL. I. **Potencial de reuso de água no Brasil**: agricultura, indústria, municípios, recarga de aquíferos. BAHIA ANÁLISES & DADOS Salvador, v.13, n. ESPECIAL, p.411-437, 2003.

IBGE. **Cidades e Estados**. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rn/caico/panorama>>. Acesso em: 20 jan. 2020.

INMET. **Dados históricos**: precipitação total. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>>. Acesso em: 10 jan. 2020.

INMET. **Normal Climatológica do Brasil 1981-2010**: Precipitação Acumulada. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisClimatologicas>>. Acesso em: 24 jan. 2020.

LIMA, M. G. M. de et al. **Dimensionamento de reservatório de água pluvial: uso do método de Azevedo Neto para residência unifamiliar**. 2015. Disponível em: <http://www.editorarealize.com.br/revistas/aguanosemiarido/trabalhos/TRABALHO_EV044_MD4_SA6_ID407_10092015230211.pdf>. Acesso em: 26 jan. 2020.

MOURA, M. S. B. de. **Precipitação e evaporação**. Disponível em: <https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/bioma_caatinga/arvore/CONT000g798rt3p02wx5ok0wtedt3nd3c63l.html>. Acesso em: 05 out. 2019.

OPENBRASIL. **História das cidades do Seridó**. Disponível em: <<https://historiadascidadesdoserido.openbrasil.org/2013/08/caico-rn.html>>. Acesso em: 20 jan. 2020

SAMPAIO, R. **ASA 20 Anos: Água potável é vida e bênção para a infância do Semiárido**. 2019. Articulação do Semiárido. Disponível em: <https://www.asabrasil.org.br/noticias?artigo_id=11021>. Acesso em: 05 jan. 2020.

SANTOS, A. O. **Potencialidade do aproveitamento das águas pluviais no campus da UFRN-CERES-CAICÓ**. 2017. 60 f. TCC (Graduação) - Curso de Geografia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Caico, 2017.

SANTOS, D. G. dos. Reúso de Água no Contexto do Plano Nacional de Recursos Hídricos. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE REÚSODE ÁGUA ABES -PR, 2., 2015, Curitiba. **Slides**. Curitiba: S.i, 2015. p. 1 - 80.

SANTOS, H. F.; MANCUSO, P. C. S. **A escassez e o reúso de água em âmbito mundial**. Reúso de Água. Barueri/SP: Manole, 2003. Cap. 1, p. 1-20.

SANTOS, K. A.; RUFINO, I. A. A.; BARROS FILHO, M. N. M.. Impactos da ocupação urbana na permeabilidade do solo: o caso de uma área de urbanização consolidada em Campina Grande - PB. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, [s.l.], v. 22, n. 5, p.943-952, 6 jul. 2017. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522016146661>.

SILVA, J. B. L. et al. Nota Técnica: Equações De Intensidade, Duração E Frequência De Chuvas Máximas Para O Estado Do Rio Grande Do Norte, Brasil. **Revista Engenharia na Agricultura - Reveng**, [s.l.], v. 26, n. 2, p.160-170, 20 abr. 2018. Revista Engenharia na Agricultura. <http://dx.doi.org/10.13083/reveng.v26i2.885>.

SILVA, M. M. M. A. **Avaliação do comportamento de cisternas dimensionadas pelo método de Andrade Neto em regiões de diferentes regimes pluviais no Rio Grande do Norte**. 2018. 54 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Sanitária., Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2018.

SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. **SNIS-Água e esgotos**. Disponível em: <<http://app4.cidades.gov.br/serieHistorica/#>>>. Acesso em: 19 jan. 2020.

SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre **Saneamento: diagnóstico dos serviços de água e esgotos** – 2018. (2019). Brasília, MCIDADES. Disponível em: http://www.snis.gov.br/downloads/diagnosticos/ae/2018/Diagnostico_AE2018.pdf. Acesso em: 05 jan. 2020.

SOUZA, A. B.; ANDRADE NETO, C. O.; MAIA, A. G. **Análise crítica de métodos de dimensionamento de cisterna**. In: simpósio brasileiro de captação e manejo de água de chuva, 10, 2016, Belém. Si, 2016.

YOSHIMOTO, P.M.; SILVA, S.M.N. **Uso racional de água**. Cap.6. In:Redução do Custo de Energia Elétrica em Sistemas de Abastecimento de Água. ABES. São Paulo, 2001.