



Universidade de Brasília - UNB  
Faculdade UnB Planaltina - FUP  
Mestrado Profissional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - PROFÁGUA

**FERNANDA JESUS DE PAULA**

**MANEJO DE ÁGUAS PLUVIAIS COMO FORMA DE MITIGAÇÃO DOS  
IMPACTOS CAUSADOS POR ALAGAMENTOS EM ÁREAS RURAIS E  
APROVEITAMENTO DA ÁGUA DE CHUVA PARA FINS POTÁVEIS**

**Brasília-DF**

**2024**

**FERNANDA JESUS DE PAULA****MANEJO DE ÁGUAS PLUVIAIS COMO FORMA DE MITIGAÇÃO DOS  
IMPACTOS CAUSADOS POR ALAGAMENTOS EM ÁREAS RURAIS E  
APROVEITAMENTO DA ÁGUA DE CHUVA PARA FINS POTÁVEIS**

Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional de Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - ProfÁqua, da Universidade de Brasília, como requisito para obtenção do título de Mestre em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos.

Área de concentração Regulação e Governança de Recursos Hídricos.

Linha de pesquisa: Segurança Hídrica e Usos Múltiplos da Água

Nome do orientador  
Prof. Dr. Mauro Roberto Felizatto

Nome do coorientador  
Prof. Dr. Daniel Sant'Ana

Brasília-DF, 2024



**Ficha catalográfica elaborada automaticamente,  
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)**

P324m

PAULA, FERNANDA JESUS DE  
MANEJO DE ÁGUAS PLUVIAIS COMO FORMA DE MITIGAÇÃO DOS  
IMPACTOS CAUSADOS POR ALAGAMENTOS EM ÁREAS RURAIS E  
APROVEITAMENTO DA ÁGUA DE CHUVA PARA FINS POTÁVEIS /  
FERNANDA JESUS DE PAULA; orientador Mauro Roberto  
Felizatto; co-orientador Daniel Sant'Ana. -- Brasília, 2024.  
122 p.

Dissertação (Mestrado Profissional em Rede Nacional em  
Gestão e Regulação de Recursos Hídricos) -- Universidade de  
Brasília, 2024.

1. Saneamento Rural. 2. Manejo de águas pluviais. 3.  
Drenagem Rural. 4. Aproveitamento de Água de chuva. I.  
Felizatto, Mauro Roberto, orient. II. Sant'Ana, Daniel,  
co-orient. III. Título.

**Banca Examinadora**

---

Prof. Dr. Mauro Roberto Felizatto  
Orientador- Presidente

---

Profa. Dra. Lucijane Monteiro de Abreu  
Membro interno

---

Dr. Gustavo Antonio Carneiro  
Membro externo

---

Prof. Dr. Antonio de Almeida Nobre Junior  
Suplente

**Brasília-DF, 2024**



Dedico este trabalho às comunidades rurais, que enfrentam diariamente os desafios da falta de acesso a serviços essenciais, como o saneamento básico, e pela crescente vulnerabilidade aos eventos climáticos extremos. Que esta pesquisa, ao propor soluções para o manejo sustentável das águas pluviais, possa inspirar iniciativas que promovam mais dignidade e resiliência a essas populações. À força dessas comunidades, que resistem apesar da negligência e da falta de apoio, dedico cada esforço deste estudo.

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por conduzir o tempo de maneira perfeita, permitindo que eu finalizasse esta jornada. Sua força me sustentou nos momentos mais difíceis, dando-me resiliência e maturidade para enfrentar os desafios.

À minha família, que sempre acreditou no poder transformador da educação. Aos meus pais, José Luiz e Maria Denice, que me ensinaram, desde cedo, que a educação é o melhor caminho para alcançar uma vida melhor. Vocês, que vieram da zona rural e ainda vivem nela, são a maior inspiração para este trabalho, sempre buscando condições de vida mais dignas para a comunidade rural em que vivem. Às minhas irmãs Graciela, Juciele, Leiliane e Franciele, que, mesmo à distância, sempre me incentivaram e apoiaram incondicionalmente.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Mauro Roberto Felizatto, pela generosidade, paciência e por acreditar em mim, enxergando uma capacidade que eu mesma desconhecia. Sua dedicação e exigência por qualidade elevaram este trabalho a um patamar que eu jamais imaginei ser possível. Obrigada por não permitir que eu me contentasse com o simples e por estar sempre presente e disposto a ajudar. Ao meu coorientador, Prof. Dr. Daniel Sant'Ana, pela dedicação e esforço em me guiar para enxergar o melhor caminho. Sua capacidade de abrir meus olhos para os ajustes necessários e ajudar a construir uma dissertação coerente foi essencial para que este trabalho alcançasse um nível mais elevado de clareza.

Aos colegas da Secretaria Municipal de Meio Ambiente de Formosa-GO, que compreenderam a relevância desta pesquisa para o município e colaboraram de forma significativa, seja fornecendo informações, realizando vistorias, obtendo dados ou oferecendo recursos que enriqueceram este trabalho. À comunidade do Assentamento Rural Barra Verde, que participou com entusiasmo das entrevistas e recebeu a equipe da SEMMA com tanto acolhimento, contribuindo para a construção de um projeto significativo e alinhado às suas necessidades.

Aos colegas de mestrado, que sempre torceram por mim e comemoraram comigo cada conquista. Um agradecimento especial ao meu colega Flávio, cuja ajuda nos cálculos foi essencial para o desenvolvimento deste trabalho.

Ao meu filho Henrique, a melhor surpresa que eu poderia receber durante este percurso. Sua existência dentro de mim me deu forças para continuar e concluir esta etapa com ainda mais determinação e amor.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001 e da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), através do Convênio CAPES/UNESP Nº. 951420/2023. Agradeço ao Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - ProfÁgua pelo apoio técnico científico aportado até o momento.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Estrutura básica do sistema de captação de água pluvial.....	15
Figura 2- Cisterna de Placas.....	19
Figura 3- Cisterna de ferro-cimento.....	20
Figura 4- Cisterna de Polietileno.....	20
Figura 5- Cisterna de Tela e Arame.....	21
Figura 6- Cisterna de Tijolos.....	21
Figura 7- Cisterna de Cal .....	22
Figura 8- Estrutura básica de uma cisterna calçadão.....	23
Figura 9- Ilustração do dispositivo DesviUFPE.....	25
Figura 10- Modelos de filtros disponíveis no mercado.....	26
Figura 11- Sentido da filtração, em (a) descendente e em (b) ascendente.....	27
Figura 12: Filtro de Barro.....	28
Figura 13: Filtração em equipamentos elétricos.....	29
Figura 14: Metodologia SODIS.....	30
Figura 15: Imagem ilustrativa de uma Reservatório de Retenção na zona urbana.....	31
Figura 16: Imagem ilustrativa de Barraginhas na zona rural.....	32
Figura 17: Exemplo de uma trincheira de infiltração com preenchimento (a) e sem preenchimento (b).....	32
Figura 18: Exemplo de valeta na zona rural como estrutura de microdrenagem.....	33
Figura 19: Exemplo de valeta na zona rural de Formosa-GO como estrutura de contenção de enxurradas para captação da água pluvial até uma bacia de retenção (barraginha).....	35
Figura 20: Exemplo de Poço de Infiltração.....	35
Figura 21: Fluxograma das etapas seguidas.....	39
Figura 22: Mapa Localização PA Barra Verde.....	40
Figura 23: Geomorfologia PA Barra Verde.....	41
Figura 24: Mapa Solos PA Barra Verde.....	42
Figura 25: Geologia PA Barra Verde.....	43
Figura 26: Bacia Hidrográfica Rio Paraná PA Barra Verde.....	44
Figura 27: Hidrografia PA Barra Verde.....	45
Figura 28: Imagens das estradas do assentamento rural PA Barra Verde em períodos chuvosos.....	45
Figura 29: Estradas Assentamento Barra Verde.....	56
Figura 30: Cadastro Ambiental Rural.....	58
Figura 31: Gráfico das Normais Climatológicas (Temperaturas média, Evaporação e Umidade Relativa).....	59
Figura 32: Interface para simulação do potencial de utilização de água pluvial e identificação do volume necessário para atendimento das demandas hídricas.....	61
Figura 33: Distância da estação pluviométrica à área de estudo.....	63
Figura 34: Localização das cavas na área de estudo.....	64
Figura 35: Etapas do procedimento de execução e monitoramento das cavas.....	66



Figura 36: Comportamento do Hidrograma em diferentes situações.....	72
Figura 37: Hidrograma unitário.....	75
Figura 38: Hietograma de Projeto.....	76
Figura 39: Nível de escolaridade das famílias entrevistadas.....	79
Figura 40: Proporção dos moradores que possuem Poço Tubular Profundo.....	80
Figura 41: Captação de água de chuva de uma forma mais precária.....	80
Figura 42: Ampliação da ortomosaico para identificação do uso do solo.....	81
Figura 43: Ortomosaico criado pelas imagens captadas por meio de drone.....	82
Figura 44: Proporção do material do telhado nas residências da área de estudo, dados coletados de 64 residências, sendo a maior parte de telha de cerâmica.....	84
Figura 45: Resultado da simulação do volume necessário para atendimento das demandas hídricas.....	85
Figura 46: Consumo de Água pluvial e Atendimento das demandas hídricas.....	85
Figura 47: Resultado da simulação do volume necessário para atendimento das demandas hídricas.....	86
Figura 48: Hidrograma de projeto sem os dispositivos de infiltração e Hidrograma de amortecimento.....	97

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Demanda para abastecimento humano em áreas não atendidas pela concessionária.....	50
Tabela 2- Estação pluviométricas São João D'Aliança.....	51
Tabela 3- Parâmetros analisados para análise de potabilidade da água.....	53
Tabela 4- Dados Cavas 1.....	95
Tabela 5- Dados Cavas 2.....	96
Tabela 6- Dados Cavas 3.....	96
Tabela 7- Dados Cavas 4.....	96
Tabela 8- Dados Cavas 5.....	96
Tabela 9- Dados Cavas 6.....	96
Tabela 10 - Resultado da análise de água da chuva.....	69
Tabela 11 - Resultado da análise de água do poço Tubular Profundo.....	70
Tabela 12- Taxa de percolação média.....	70
Tabela 13- Conversão de valores de taxa de percolação em taxas de aplicação superficial.....	71
Tabela 14- Composição do solo e faixa do coeficiente de infiltração.....	99
Tabela 15- Coeficiente de permeabilidade do solo saturado.....	71

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1- Vantagens e desvantagens de diferentes tipos de cisternas.....	24
Quadro 2- Vantagens e desvantagens de diferentes tipos de tecnologias de drenagem de águas pluviais.....	37
Quadro 3- Coeficiente de escoamento superficial/ deflúvio/runoff.....	39
Quadro 4- Grupamento de solos segundo suas qualidades, características e resistência à erosão (Lombardi Neto <i>et al.</i> , 1989).....	99
Quadro 5- Grupo Hidrológico D.....	100



Quadro 6- Precipitação acumulada no passo de tempo e variação da precipitação.....	101
Quadro Descrição das áreas e material dos telhados.....	67

## **LISTA DE SIGLAS**

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ADASA	Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal
ANA	Agencia Nacional de Águas e Saneamento Básico
ASA	Articulação do Semiárido Brasileiro
CESSA	Curso de Especialização de Saneamento e Saúde Ambiental
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
FUNASA	Fundação Nacional de Saúde
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INCRA	Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
IPEA	Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
NBR	Norma Brasileira
P1MC	Programa Um Milhão de Cisternas
PNSR	Programa Nacional de Saneamento Rural
PVC	Policloreto de Vinila
SCS	Soil Conservation Service
SEMMA	Secretaria Municipal de Meio Ambiente de Formosa-GO
SGB	Serviço Geológico do Brasil
SIEG	Sistema Estadual de Geoinformação
TCA	Termo de Compromisso Ambiental



## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	4
1.1 JUSTIFICATIVA.....	7
1.2 PROBLEMA DE PESQUISA .....	10
1.3 OBJETIVOS .....	11
1.3.1 Objetivo Geral .....	11
1.3.2 Objetivos Específicos .....	11
<b>2. MANEJO DE ÁGUAS PLUVIAIS .....</b>	12
<b>2.1. Aproveitamento de água de chuva de coberturas .....</b>	12
2.1.1 Modelos de reservatórios de captação de água de chuva em áreas rurais	14
2.1.2 Tecnologias de tratamento de água da chuva para fins potáveis em áreas rurais	
<b>2.2 Tecnologias de drenagem de águas pluviais .....</b>	27
2.2.1 Dispositivos de controle na fonte .....	28
2.2.2 Parâmetros hidrológicos essenciais para o dimensionamento de estruturas de drenagem .....	33
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	35
<b>3.1 Localização e delimitação da área de estudo .....</b>	36
<b>3.2 Caracterização ambiental da área de estudo.....</b>	4
<b>3.3 Entrevista com os moradores do Assentamento Rural Barra Verde-Formosa-GO5</b>	
<b>3.4 Análise das tecnologias de manejo de águas pluviais adequadas a área de estudo6</b>	
3.4.1 Análise do potencial de aproveitamento de água de chuva.....	6
3.4.2 Análise da Qualidade de Água da chuva (telhado) e Poço Tubular Profundo.....	8
3.4.3 Dimensionamento das Tecnologias de Drenagem de águas pluviais.....	9
3.4.4 Estimativa da redução da vazão de água pluvial na drenagem da área de estudo-Hidrograma.....	10
<b>4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS .....</b>	16
<b>4.1 ENTREVISTA COM OS MORADORES DA ÁREA DE ESTUDO.....</b>	16
4.1.1 Erro Amostral .....	16
4.1.2 Resultado da entrevista.....	16
<b>4.2 ANÁLISE DO POTENCIAL DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA POTÁVEL PELO APROVEITAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA.....</b>	19
4.2.1 Vetorização das áreas dos telhados por meio de DRONE .....	19



4.2.2 Estimativa do potencial de captação de água de chuva (telhados).....	5
4.2.3 Análise da Qualidade de Água da Chuva (Telhado) e Poço Tubular Profundo .....	7
<b>4.3 DIMENSIONAMENTO DAS TECNOLOGIAS DE DRENAGEM DE ÁGUAS PLUVIAIS .....</b>	<b>10</b>
4.3.1 Teste de Percolação.....	10
4.3.2 Estimativa da redução da vazão de água pluvial na drenagem da área de estudo- Hidrograma.....	18
<b>5. PRODUTO FINAL.....</b>	<b>19</b>
<b>6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....</b>	<b>21</b>
<b>7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>24</b>
<b>8. APENDICE A .....</b>	<b>35</b>
8.1 ENTREVISTA INDIVIDUAL COM OS MORADORES DO ASSENTAMENTO RURAL BARRA VERDE-FORMOSA-GO.....	35
8.2 ENSAIO DE PERCOLAÇÃO.....	37
8.3 BARRAGINHA .....	40
8.4 HIDROGRAMA.....	41



## RESUMO

Este trabalho tem como objetivo analisar como o emprego de diferentes tecnologias de manejo de águas pluviais pode ampliar o acesso a água potável pelo aproveitamento de água de chuva, além de mitigar os impactos causados pelos alagamentos em áreas rurais. A pesquisa incluiu a caracterização ambiental da área rural escolhida, entrevistas com os moradores para identificar as demandas hídricas e as fontes de água disponíveis, e análise das tecnologias de manejo de águas pluviais mais adequadas para a área rural em questão. Foi feita a vetorização da área de telhados a partir de imagens feitas por meio de drone e avaliado o potencial de abastecimento de água potável utilizando o programa computacional NETUNO 4.0. Foram feitas análises da qualidade da água da chuva (captada em telhados) e de poços tubulares profundos, além do dimensionamento de tecnologias de drenagem de águas pluviais e a estimativa de redução da vazão com a implementação dessas tecnologias. Os resultados mostraram que apenas 56% das famílias possuem poço tubular profundo, enquanto o restante depende da água de poços vizinhos. A simulação de um reservatório de 16.000 litros indicou um aproveitamento de 74,04% da água da chuva, sendo necessário um reservatório de pelo menos 45.000 litros para garantir o abastecimento contínuo ao longo do ano. A análise da qualidade da água revelou que tanto a água da chuva quanto a dos poços profundos necessitam de tratamento para atender aos padrões de potabilidade. Entre as tecnologias de drenagem, os reservatórios de retenção e as valetas foram as mais viáveis para implementação, devido à sua geometria estável, que facilita o processo de escavação e manutenção. A simulação do hidrograma de amortecimento mostrou que a vazão de pico foi reduzida de 0,49 m<sup>3</sup>/s para 0,09 m<sup>3</sup>/s e o tempo de pico foi ampliado de 4,8 horas para 5,6 horas, considerando a implementação das tecnologias na área de estudo.

**Palavras-chave:** Manejo de águas pluviais, Drenagem Rural, Aproveitamento de Água de chuva

## ABSTRACT

This study aims to analyze how the use of different rainwater management technologies can improve access to potable water through rainwater harvesting and mitigate the impacts of flooding in rural areas. The research included the environmental characterization of the selected rural area, interviews with residents to identify water demands and available water sources, and the analysis of the most suitable technologies for rainwater and stormwater management in the region. Roof area vectorization was conducted using images captured by a drone, and the potential for potable water supply was evaluated using the NETUNO 4.0 software. Additionally, analyses were performed on the quality of rainwater (collected from rooftops) and deep tubular wells, along with the sizing of stormwater drainage technologies and the estimation of flow reduction resulting from their implementation. The results showed that only 56% of families have access to deep tubular wells, while the rest depend on water from neighboring wells. A simulation of a 16,000-liter reservoir indicated a 74.04% utilization of rainwater, with a minimum reservoir capacity of 45,000 liters needed to ensure continuous supply throughout the year. Water quality analyses revealed that both rainwater and deep well water require treatment to meet potability standards. Among the drainage technologies, "barraginhas" (small retention reservoirs) and trenches were the most viable for implementation due to their stable geometry, which facilitates excavation and maintenance processes. The hydrograph attenuation simulation showed that the peak flow was reduced from 0,49 to 0,09 m<sup>3</sup>/s, and the peak time was extended from 4,8 to 5,6 hours, considering the implementation of these technologies in the study area.

**Key words:** Stormwater Management, Rural Drainage, Rainwater Harvesting



## 1. INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas têm sido observadas como possível causa de irregularidades no regime de chuva no Brasil, seja pelo excesso de chuvas com os consequentes alagamentos e enchentes, seja com severos períodos de seca que comprometem o abastecimento e demais usos da água (MARENGO, 2008). Com a ocorrência dos eventos climáticos extremos observa-se um aumento da vulnerabilidade nas comunidades rurais, por geralmente serem mais isoladas, de difícil acesso, e por apresentarem deficiência nos serviços de infraestrutura em saneamento básico. No Censo Demográfico de 2010, o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) apontou que aproximadamente 15,64% (29,8 milhões de habitantes) da população brasileira residem em localidades rurais, de modo que cerca da metade das pessoas que residem nesses territórios ainda está sujeita a situações de saneamento básico sem atendimento adequado (IBGE, 2017).

O Programa Nacional de Saneamento Rural (PNSR) elaborado pela Fundação Nacional de Saúde (FUNASA) considera o saneamento básico como o conjunto de serviços que envolvem o sistema de abastecimento de água, sistema de esgotamento sanitário, manejo de resíduos sólidos e manejo das águas pluviais (BRASIL, 2019). No que se refere ao manejo de águas pluviais no ambiente rural, a FUNASA define o termo como o conjunto de atividades, infraestruturas e instalações operacionais destinadas a controlar o escoamento das águas da chuva em áreas rurais. Isso inclui medidas para reduzir a erosão do solo, minimizar inundações, promover a infiltração da água no solo e, capturar e armazenar a água da chuva para uso futuro, como irrigação ou abastecimento de água potável (BRASIL, 2019). Assim como no ambiente urbano, as áreas rurais também sofrem com a carência em manejo de águas pluviais, e estão vulneráveis a irregularidades no regime de chuva, em especial a eventos de alagamentos e desabastecimento de água potável.

Alagamentos em áreas rurais provenientes das chuvas em excesso podem comprometer a mobilidade das comunidades rurais, pois as famílias aglomeram-se em menor quantidade em núcleos de convivência, alguns situados em locais remotos, com acesso por uma única estrada ou caminho (MIOLA, 2013). A remoção do excesso de água acumulada no solo, principalmente nas regiões úmidas e semiúmidas como pântanos e brejos, possui vários benefícios. Por exemplo, a recuperação de terras para a agricultura, pela transformação de grandes áreas encharcadas em campos cultiváveis e a consolidação do terreno, para construções civis e manutenção de vias internas das comunidades rurais; e principalmente o saneamento ambiental, com a eliminação de criadouros de mosquitos transmissores de doenças (BRASIL, 2020).



No que diz respeito ao desabastecimento de água potável, a falta de disponibilidade de água torna ainda mais precário os serviços de saneamento básico na zona rural. As características específicas do meio rural, como a dispersão geográfica, impede o fornecimento de serviços de saneamento nos mesmos moldes de provimento do meio urbano, tornando esses territórios mais distantes da universalização da cobertura dos serviços de saneamento básico (IPEA, 2023), sendo necessária a busca por soluções individuais de abastecimento de água como a construção ou aquisição de cisternas ou outros tipos de reservatórios de água pluvial.

Existem diferentes estratégias voltadas ao manejo de águas pluviais que fazem uso de tecnologias capazes de promover o amortecimento de vazões de cheias por meio da otimização da infiltração da água no solo e retenção da água da chuva para aproveitamento posterior (OLIVEIRA; BARBASSA; GONÇALVES, 2016). Essas tecnologias visam o rearranjo temporal das vazões e, eventualmente, a diminuição do volume escoado, reduzindo a probabilidade de inundações e possibilitando ganhos na qualidade das águas pluviais (BAPTISTA; NASCIMENTO; BARRAUD, 2015). Evidentemente que, na maioria das vezes, essas tecnologias estarão mais presentes nas áreas urbanizadas, entretanto, na área rural, podem-se observar estruturas semelhantes. Dentre as alternativas para o manejo de águas pluviais em áreas rurais, existem o aproveitamento de água de chuva com uso de reservatório residencial, bacias de retenção, barraginhas, terraceamento, trincheira de infiltração, jardim drenante e plantio em curva de nível (CESSA, 2020).

Destaca-se que a implementação das tecnologias de manejo de águas pluviais mencionadas anteriormente implica custos financeiros de materiais, mão de obra e equipamentos. Para muitas comunidades rurais, especialmente aquelas com recursos limitados, o investimento inicial pode ser um desafio. Por exemplo, um sistema de captação de água de chuva pode representar um ônus ao morador da área rural, dados os múltiplos componentes do sistema, como calhas, condutos e reservatórios, que apresentam variados preços no mercado. Ainda assim, um exemplo adicional é a dificuldade do próprio morador da área rural em implementar sistemas de drenagem de águas pluviais como bacias de retenção, trincheiras de infiltração, dentre outras obras de manejo de águas pluviais. Essas obras demandam a elaboração de projetos, utilização de maquinário e demais equipamentos muitas vezes indisponíveis às comunidades rurais. Devido a fragilidade ao acesso a recursos externos, a vulnerabilidade das comunidades rurais se potencializa em situações nas quais os recursos locais não são suficientes para suprir suas demandas (NÓBREGA *et al.*, 2012).

Ainda que os custos iniciais e os desafios técnicos representam obstáculos importantes, as vantagens a longo prazo das tecnologias de manejo de águas pluviais tornam-se evidentes,



especialmente quando consideramos as variações climáticas e as necessidades hídricas das áreas rurais. Nesse contexto, as áreas rurais podem se beneficiar em termos de mitigação dos impactos causados pelos alagamentos por meio da implantação de estruturas de drenagem que podem favorecer a remoção do excesso de água dos solos, e propiciar condições de aeração, estruturação e resistência nos solos, além de poder aproveitar a água da chuva para utilização em períodos de seca. Sendo assim, é possível que o uso de tecnologias de manejo de águas pluviais em áreas rurais possa favorecer a infiltração e o armazenamento temporário do escoamento superficial e mitigar os impactos causados por alagamentos em períodos chuvosos, além de ampliar o acesso à água potável pelo aproveitamento da água de chuva coletada em coberturas para consumo humano.



## 1.1 JUSTIFICATIVA

A questão do saneamento rural é um dos maiores desafios para a universalização do acesso à água e a mitigação de impactos ambientais. De acordo com o Plano Nacional de Saneamento Básico (PLANSAB), a infraestrutura de abastecimento de água, esgotamento sanitário e drenagem pluvial ainda é limitada em muitas áreas rurais do Brasil, dificultando a resiliência dessas comunidades diante de eventos climáticos extremos, como estiagens e alagamentos. Nesse contexto, o manejo de águas pluviais surge como uma alternativa sustentável para ampliar o acesso à água potável e reduzir os impactos negativos da falta de infraestrutura adequada. Além disso, as diretrizes da Política Nacional de Recursos Hídricos reforçam a necessidade de soluções descentralizadas e adaptáveis às características regionais.

O aproveitamento da água de chuva pode ser uma ferramenta estratégica para promover a segurança hídrica e contribuir com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU, especialmente o ODS 6, que busca garantir a disponibilidade e gestão sustentável da água para todos. Portanto, compreender e aplicar tecnologias eficientes para captação e uso de águas pluviais em áreas rurais pode representar um avanço significativo na gestão dos recursos hídricos e no fortalecimento do saneamento rural no Brasil.

Nas diretrizes para o manejo de águas pluviais estabelecidas no PNSR da FUNASA, destacam-se duas importantes estratégias como: i) Ampliar o acesso à água pluvial para consumo humano, produção agrícola e criação de animais, atividades comunitárias e situações de emergência e; ii) Estimular a adoção de sistemas de drenagem nas vias internas das comunidades rurais, preconizando aquelas que favoreçam a infiltração e o armazenamento temporário do escoamento superficial (BRASIL, 2019). As estratégias destacadas visam não apenas a melhoria do acesso à água e a gestão eficiente das chuvas, mas também a resiliência das comunidades rurais frente aos desafios climáticos e ambientais.

### 1.1.1 Aproveitamento de água da chuva em usos potáveis

O aproveitamento de água da chuva em usos potáveis é uma prática milenar que continua sendo aplicada nos dias de hoje. No Brasil, incentivos maiores foram introduzidos com a Lei nº 12.873, de outubro de 2013, que criou o Programa Nacional de Apoio à Captação de Água de Chuva e Tecnologias Sociais de Acesso à Água, conhecido como “Programa Cisternas”, visando prover água para consumo humano, animal e produção de alimentos (BRASIL, 2013). Posteriormente, esses termos foram incorporados à Política Nacional de Recursos Hídricos e ao Plano Nacional de Saneamento Básico através da Lei 13.501, de 2017 (BRASIL, 2017). Na zona rural, o Decreto Nº 9.606, de 10 de dezembro de 2018, também



regulamenta o aproveitamento da água da chuva para fins potáveis como parte do Programa Cisternas (BRASIL, 2018).

Pesquisas foram realizadas para determinar se os sistemas alternativos de aproveitamento de água de chuva são tecnologicamente viáveis e economicamente sustentáveis. Sant'ana (2006) propôs dois tipos de sistemas de recolha de água de chuva (RAC) para uma residência no Distrito Federal: Sistema RAC Tratado, indicado para usos domésticos não potáveis como descarga de vasos sanitários, lavagem de louças e roupas e Sistema RAC Potável, indicado para uso no banho, este último utiliza um processo de microfiltração seguido de esterilização UV para garantir a potabilidade da água. Com base na análise dos padrões de consumo de água; volume de chuva captada; dados de precipitação e áreas de captação, o autor calculou o potencial de coleta de água da chuva pelos sistemas RAC. A conclusão foi de que ambos os sistemas oferecem benefícios significativos de conservação de água, o Sistema RAC Tratado pode economizar 222,65 m<sup>3</sup>/ano de água potável e o sistema potável, após desinfecção adequada, pode conservar 456,25 m<sup>3</sup>/ano.

Batista, Neu e Meyer (2022) exploraram o dimensionamento de sistemas de captação de água de chuva para residências unifamiliares, considerando as diferentes regiões climáticas do estado do Pará. Os autores concluíram que nas regiões climáticas Am, tropical de monção, e Af, clima equatorial, que dominam 94,4% do estado, sistemas relativamente pequenos, de baixo custo, têm potencial para suprir totalmente ou quase totalmente a demanda mínima de residências com até cinco pessoas.

Uma experiência significativa é o Programa Um Milhão de Cisternas (P1MC), que tem demonstrado ser uma alternativa relevante para abastecer as famílias com água de boa qualidade, minimizando assim os problemas relacionados à falta de água, tendo em vista que o sistema de captação de água de chuva através das cisternas representa uma tecnologia acessível e de baixo custo capaz de armazenar grandes volumes de água durante o ano. No entanto, faz-se necessária a adoção de medidas de higiene no manejo desta água para que ela não venha constituir foco de contaminação microbiológica (SILVA *et al.*, 2006). Alguns estudos, no entanto, demonstraram que, em relação as características físicas e químicas, a contaminação da água de chuva nas zonas rurais é baixa, geralmente atendendo aos padrões de potabilidade para consumo humano. Os riscos associados ao consumo dessa água estão mais ligados à contaminação microbiológica, que depende tanto dos cuidados na captação e armazenamento quanto do manuseio adequado (ANDRADE NETO, 2004).

Domingos *et al.* (2023) avaliaram a qualidade da água da chuva armazenada em reservatórios domiciliares que utilizam o sistema de captação e tratamento denominado



DesviUFPE, método desenvolvido pelos pesquisadores da UFPE-Universidade Federal de Pernambuco para descarte automático das primeiras águas, e a adequação da água armazenada aos padrões de potabilidade para fins de abastecimento humano. Foram realizadas coletas em 24 residências populares urbanas no semiárido do Estado de Pernambuco. A utilização do sistema DesviUFPE em conjunto com a desinfecção por cloração mostrou-se uma solução eficaz para tornar a água da chuva potável e apropriada para consumo humano.

### **1.1.2 Drenagem de águas pluviais**

Em relação ao manejo e drenagem das águas pluviais, alguns autores defendem a implantação de tecnologias que favorecem a infiltração e retenção da água no solo, como a implantação de reservatórios de retenção ou barraginhas, popularmente conhecida nas áreas rurais, trincheiras de infiltração e microreservatórios residenciais. Bock *et al.* (2022) avaliaram o desempenho do emprego de um reservatório que atenda à dupla finalidade de armazenamento pluvial para usos não potáveis e, simultaneamente, medida de controle do escoamento na fonte. Segundo Tassi (2002), sistemas de armazenamento, como microrreservatórios, não possuem apenas o benefício de promover a captação e aproveitamento de água, mas também de fomentar a redução de escoamento pluvial, minimizando os efeitos dos eventos extremos e diminuindo os picos de cheias por armazenamento temporário dos volumes escoados.

Vieira e Siqueira (2016) analisaram a importância da construção de práticas mecânicas como as barraginhas, nas propriedades rurais do município de Pedro Leopoldo-MG, para a minimização de enchentes, conservação da água e melhorias da disponibilidade de recursos hídricos tanto em quantidade, bem como em qualidade, além do controle dos processos erosivos. Ramos (2017) também avaliou a necessidade de implantação de barraginhas na comunidade rural de Padre Trindade, localizado no município de Formiga – MG.

Nota-se que o campo de pesquisas para aprimorar as técnicas de manejo de águas pluviais ainda é vasto e tem sido estudado em várias regiões do Brasil. Isso ocorre porque essa alternativa pode ajudar milhões de pessoas a lidar com a escassez hídrica e a reduzir o impacto de outros problemas, como as enchentes. Sendo assim, a relevância do presente trabalho justifica-se pela importância do desenvolvimento de estudos que abordem o componente manejo de águas pluviais dentro do saneamento básico para as áreas rurais, em especial estudos de uso de tecnologias que tenham a finalidade de favorecer o aproveitamento de água da chuva para fins potáveis e a drenagem das águas pluviais no ambiente rural.



## 1.2 PROBLEMA DE PESQUISA

A Lei nº 11.445 (BRASIL, 2007), que estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico, define apenas os dispositivos e o manejo das águas pluviais voltados para a área urbana, não incluindo esse componente para a área rural. A Embrapa (2021) destaca a existência de uma grande lacuna na aplicação de políticas públicas relacionadas ao saneamento básico em áreas rurais, entretanto, também há a falta de interesse da população rural, sendo que, a grande maioria não possui conhecimento ou não sabem da importância do saneamento para a comunidade e para o meio em que vivem. A falta de cobertura completa por parte das companhias estaduais, departamentos ou empresas municipais de saneamento nas áreas rurais acarreta na responsabilidade das próprias comunidades em procurar fontes alternativas de abastecimento de água e muitas vezes resulta na ausência de sistemas adequados de manejo de águas pluviais (SOUZA, 2020).

Além disso, observa-se uma carência de dados sobre a realidade do manejo de águas pluviais no meio rural. O Censo Demográfico de 2010, em seu banco de dados do universo dos domicílios brasileiros, disponibiliza informações sobre a presença de pavimento, meio fio e bueiro para cerca de 23% dos domicílios considerados rurais no âmbito do PNSR. Tais informações são relacionadas ao entorno dos domicílios rurais e não permitem uma caracterização pormenorizada e que reflita a realidade em termos de abrangência e de capacidade de revelar a situação vigente (BRASIL, 2019).

Dentro do contexto dos efeitos das mudanças climáticas, embora se reconheça que as áreas urbanas são frequentemente associadas a um maior índice de enchentes e alagamentos devido à impermeabilização do solo, é importante reconhecer que as áreas rurais também enfrentam desafios significativos em relação a eventos climáticos extremos. Mwang’ombe *et al.* (2011) argumentam que, nas áreas rurais, estão concentradas as populações com menor probabilidade de responder positivamente às mudanças climáticas, devido à infraestrutura muitas vezes precária para lidar com eventos de alagamento e escassez hídrica. Um exemplo disso são as estradas rurais, que, por atenderem a um menor número de habitantes, frequentemente apresentam trajetos mal projetados e pavimentação predominantemente de terra, contribuindo para a vulnerabilidade das comunidades em caso de chuvas intensas e enchentes.

A ocorrência dessas calamidades, aliada à fragilidade do sistema viário, demanda uma atenção mais dedicada por parte de pesquisadores, gestores públicos, defesa civil e das próprias comunidades rurais afetadas (MIOLA, 2013). É importante que tais comunidades desenvolvam estratégias que as auxiliem a prevenir ou evitar o agravamento das consequências desses



eventos climáticos, seja construindo cisternas para armazenar água da chuva e melhor enfrentar períodos de estiagem, ou com a implantação de barragens, limpeza de córregos e recuperando a mata ciliar para atenuar os efeitos de enchentes, ou ainda ampliando o acesso a políticas e serviços públicos (PEITER; MALUF; ROSA, 2011).

Somando-se a isso, observa-se na literatura que estudos desenvolvidos sobre o manejo de águas pluviais em áreas rurais geralmente limitam-se ao aproveitamento de água de chuva para fins não potáveis, não abarcando outras tecnologias voltadas à gestão de águas pluviais. Nota-se uma carência de trabalhos que explorem diferentes tecnologias voltadas ao manejo de águas pluviais no ambiente rural que abordem a drenagem das águas pluviais e o aproveitamento da água da chuva para fins potáveis.

Nesse contexto, este estudo busca analisar como a aplicação de diferentes tecnologias de manejo de águas pluviais pode contribuir tanto para a mitigação dos impactos dos alagamentos em áreas rurais quanto para a ampliação do acesso à água potável, por meio do aproveitamento da água da chuva captada em coberturas. Além disso, pretende preencher lacunas na literatura ao explorar não apenas a captação para fins não potáveis, mas também estratégias integradas de drenagem e armazenamento, promovendo uma abordagem mais abrangente e sustentável para o saneamento rural.

### **1.3 OBJETIVOS**

#### **1.3.1 Objetivo Geral**

Este trabalho tem como objetivo analisar como o emprego de diferentes tecnologias de manejo de águas pluviais pode ampliar o acesso a água potável pelo aproveitamento de água de chuva, além de mitigar os impactos causados pelos alagamentos em áreas rurais.

#### **1.3.2 Objetivos Específicos**

- Realizar a caracterização ambiental na área rural, diagnóstico da infraestrutura de drenagem, e entrevista semiestruturada para identificação das demandas hídricas locais;
- Identificar as tecnologias de manejo de águas pluviais mais adequadas às áreas rurais;
- Analisar o potencial de abastecimento de água potável pelo aproveitamento de água de chuva para fins potáveis e realizar a análise da qualidade de água consumida;
- Estimar a redução da vazão de água pluvial na drenagem da área de estudo com a implantação das tecnologias de manejo de águas pluviais.



## 2 MANEJO DE ÁGUAS PLUVIAIS

Neste trabalho, o termo ‘manejo de água pluvial’ refere-se ao aproveitamento de água de chuva coletada por coberturas para usos domésticos, a fim de promover um abastecimento alternativo e ampliar o acesso à água potável, além do controle e gestão das águas da chuva, desde a sua captação até a sua utilização ou descarte adequado. Além disso, o termo ‘manejo de água pluvial’ envolve práticas e tecnologias de drenagem de água pluvial, destinadas a lidar com o volume e a qualidade do escoamento superficial a fim de minimizar inundações, erosão do solo e poluição de mananciais. Neste sentido a FUNASA destaca que:

No caso do manejo das águas pluviais, para além da possibilidade de aproveitamento nos domicílios, como fonte de água para o abastecimento, este se refere às ações voltadas para o controle de empoçamentos, inundações e erosões no solo, nas áreas do entorno dos domicílios e nos espaços coletivos. (BRASIL, 2019, p.52)

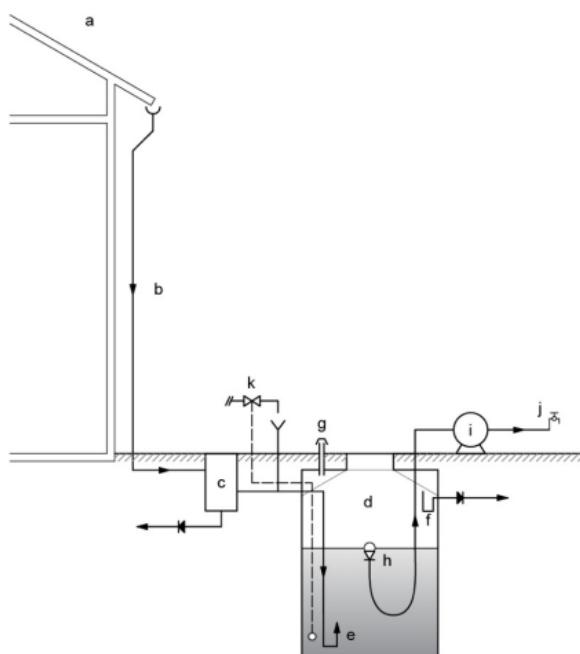
De acordo com o PNSR, a proposição de alternativas tecnológicas no componente manejo de águas pluviais em áreas rurais se refere ao domicílio, ao peridomicílio, que abrange a área externa adjacente ao domicílio, e ao sistema viário interno de acesso, que corresponde às vias de ligação entre as residências pertencentes a uma mesma localidade (BRASIL, 2019). Em relação ao domicílio, as alternativas tecnológicas de manejo de águas pluviais referem-se ao aproveitamento de água de chuva dos telhados por meio de sua reservação, devendo estar associada ao abastecimento para consumo humano, pela sua melhor qualidade, que ocasiona uma maior facilidade no tratamento (BRASIL, 2019). Já na região do peridomicílio e no sistema viário, as tecnologias de manejo de águas pluviais referem-se a tecnologias de drenagem como Trincheira de Infiltração, Jardim Drenante, Valetas, Bacias de Retenção (Barraginhas), Poço de Infiltração, entre outros.

### 2.1. Aproveitamento de água de chuva de coberturas

A implantação de um sistema de coleta e aproveitamento de água da chuva pode uma excelente opção para amenizar o problema de estiagens severas em determinados períodos do ano. Este sistema pode ser feito em telhados de casas utilizando calhas e condutos para direcionar o volume de água de chuva captado até um reservatório como caixas d’água, cisterna ou outro tipo de armazenamento (KOZERSKI; REGELMEIER, 2015). Apesar do aproveitamento de água de chuva ter seu uso limitado, pois depende da quantidade de precipitação na região, e da área de captação, por exemplo, área total de telhados, a captação de água de chuva representa uma postura ambientalmente correta perante os problemas ambientais existentes no meio rural (OLIVEIRA *et al.*, 2012).

Os sistemas tradicionais de captação e aproveitamento de água de chuva devem considerar em sua estrutura, basicamente, a área de captação de água de chuva, calhas e tubos condutores para direcionar a água até um reservatório, filtro, para a remoção de impurezas, além de sistemas de distribuição até o ponto final de utilização para uso doméstico, irrigação, entre outros (SOUZA; GASPAR, 2020). A Figura 1 ilustra os componentes básicos de um sistema tradicional de captação de água de chuva.

Figura 1-Estrutura básica do sistema de captação de água pluvial



#### LEGENDA

- a) Captação
- b) Rede Coletora
- c) Filtro
- d) Cisterna
- e) Freio d'água
- f) Sifão-ladrão
- g) Duto de Verificação
- h) Mangueira Flutuante
- i) Bomba d'água
- j) Rede de distribuição de Água não potável
- k) Alimentação automática de água potável

Fonte: Sant'ana (2017)

Cassettari, Queiroz e Manvailer (2017) analisaram o potencial de captação de água de chuva por telhados no assentamento dos produtores rurais Antônio João e Maria, município de Barra do Bugres/MT, que é formado por 95 parcelas de 4 ha. Os autores estimaram o volume de captação dos telhados por meio de uma adaptação da equação contida na norma NBR 15527 referente ao aproveitamento de coberturas (ABNT, 2007). Como resultado, os autores identificaram o volume de captação de acordo com a área do telhado, sendo a menor área de 49 m<sup>2</sup> com potencial de captação de água de chuva de 82,64 m<sup>3</sup> e a maior área de telhado de 136,50 m<sup>2</sup> com potencial de captação de 221,24 m<sup>3</sup>. Os autores concluíram que os valores dos volumes estimados indicam um elevado potencial de captação entre os lotes avaliados, sendo os de maior quantidade aqueles que aumentaram a área do telhado padrão.



Silva *et al.* (2020) analisaram como a aplicação de técnicas de captação e armazenamento de água de chuva influencia na melhoria das atividades de subsistência no assentamento rural Oziel Alves III, localizado na área rural do Distrito Federal (DF). O assentamento conta com 168 parcelas com área média de 6,8 ha. Foram veteiradas as áreas dos telhados no ambiente do software ArcGIS 10.2 para determinar as superfícies de contribuição, e feitas estimativas sobre o volume de demanda de água necessário para suprir as atividades da comunidade. Para avaliar o volume ótimo de reservação de água de chuva foram feitas simulações utilizando o programa computacional NETUNO 4.0 (GHISI; CORDOVA, 2014) onde foram utilizados dados da precipitação histórica da estação pluviométrica mais próxima. Os resultados identificaram uma área média por edificação de 92,50 m<sup>2</sup>. A principal conclusão obtida foi a de que o reservatório com volume de 10.000 litros em cada parcela atenderia a todos os assentados, levando em consideração somente a demanda de abastecimento humano.

Uma experiência de projeto de captação e armazenamento de água de chuva que ganhou notoriedade ao longo dos anos é o Programa Um Milhão de Cisternas - P1MC. Criado em 2007 pela Articulação do Semiárido Brasileiro (ASA), a ação visa melhorar a vida das famílias das zonas rurais por meio do armazenamento da água da chuva em cisternas construídas com placas de cimento ao lado de cada casa, evitando-se o sacrifício do deslocamento de quilômetros para buscar água para o uso doméstico e o consumo humano (ASA, 2015).

Gomes e Maia (2017) analisaram a eficiência de cisternas de 16 m<sup>3</sup> do P1MC nos municípios de Mossoró, Santa Cruz, São Paulo do Potengi e Natal pertencentes ao Estado do Rio Grande do Norte. As eficiências foram calculadas através de simulações do balanço hídrico da cisterna por período de mais de 53 anos de dados diários de precipitação. Utilizaram-se dados pluviométricos das quatro regiões de precipitação no Estado do RN e variou-se a área de telhado para captação em 40 m<sup>2</sup>, 60 m<sup>2</sup>, 80 m<sup>2</sup> e 100 m<sup>2</sup>. Os resultados indicaram que apenas em regiões localizadas no semiárido do Estado e áreas de captação abaixo de 60 m<sup>2</sup>, as eficiências foram abaixo de 90%, valor que a NBR 15.527 indica como desejável.

### **2.1.1 Modelos de reservatórios de captação de água de chuva em áreas rurais**

No meio rural, as cisternas são uma opção de reservatórios para o aproveitamento de águas pluviais, pois permitem benefícios relacionados a preservação e abastecimento, e a redução dos efeitos negativos das chuvas. Os benefícios da construção de cisternas estão relacionados à redução do transporte de sedimentos e à consequente diminuição da erosão e do assoreamento devidos ao rápido escoamento das águas pluviais, e ainda favorecem a

possibilidade de suprimento de água em períodos de estiagem, para diversas finalidades como a dessedentação animal, irrigação agrícola, higienização animal e humana ou mesmo para o consumo humano (CANDIOTTO; GRISA; SCHIMITZ, 2016).

Os modelos de cisternas de captação de água de chuva mais conhecidos e empregados nas áreas rurais são: cisterna de Placas de cimento, Ferro-cimento, Tela-cimento, Plástico (Polietileno), Alvenaria e Cisternas de cal; cada modelo apresentando suas especificidades próprias, métodos construtivos próprios, vantagens e desvantagens, conforme Quadro 1 (GNADLINGER, 2008).

- **Cisterna de Placas de Cimento**

A cisterna de placas de cimento é um reservatório de captação da água de chuva, construído com placas de cimento pré-moldadas conforme Figura 2, cuja finalidade é armazenar água para o consumo básico das famílias rurais durante o período de estiagem ou quando não há disponibilidade de água com qualidade para o consumo residencial. A cisterna de placas tem forma cilíndrica ou arredondada, é coberta, para evitar a poluição e a evaporação da água armazenada, e semienterrada, aproximadamente dois terços da sua altura, para garantir a segurança de sua estrutura. A água, captada na cisterna, vem do telhado das casas, conduzida por calhas de zinco ou PVC, que direcionam a água até o tanque de armazenamento da cisterna, cuja capacidade é definida a partir do número de pessoas que irão utilizá-la (FRANÇA *et al.*, 2010).

Figura 2-Cisterna de Placas



Fonte: França *et al.* (2010)

- **Cisternas de Ferro-cimento**

Cisternas de ferro cimento são adequadas especialmente para a construção individual. Em cima de um fundo cimentado é construída uma armação de arame de aço galvanizado

(diâmetro do arame até 5 mm). Esta armação é enrolada várias vezes com telas de arame, como mostra a Figura 3 (GNADLINGER, 1999). Por causa de sua estabilidade, esse tipo de cisterna vem sendo adotado em virtude de sua segurança contra rachaduras e vazamentos. A abordagem cooperativa solidária também se destaca, facilitando a construção em regime colaborativo e promovendo a participação coletiva no processo. Uma vantagem adicional é a capacidade de realizar construções na superfície do terreno com intervenções mínimas, conferindo à tecnologia do ferro cimento uma versatilidade notável em ambientes diversos (BONIFÁCIO, 2011).

Figura 3: Cisterna Ferro cimento.



Fonte: Girão *et al.* (2019)

- **Cisternas de Polietileno**

As cisternas de polietileno, como mostra a Figura 4, são facilmente implantadas pelo fato de possuírem material de fácil manuseio, o que permite uma instalação mais rápida. O polietileno é um material industrializado de boa qualidade, que permite a segurança de isolamento total da água armazenada, contribuindo para a permanência da qualidade da água, porém possui valor de mercado maior do que as cisternas convencionais (QUEIROZ *et al.*, 2017)

Figura 4-Cisterna de Polietileno



Fonte: CODEVASF (2020)

- **Cisterna de Tela e Arame**

A Cisterna de tela e arame é construída na superfície, conforme Figura 5. Ela tem uma altura de dois metros. Para a construção dessa cisterna é preciso uma forma de chapa de aço, consiste de chapas de aço plano (1x2 m), finas (0,9 mm) que são seguradas por cantoneiras e parafusadas umas nas outras em forma cilíndrica. A forma levantada é primeiramente envolta com tela de arame e em seguida com arame de aço galvanizado com uma espessura de 2 ou 4 mm, normalmente para cisternas com capacidade de 10 ou 20 m<sup>3</sup> respectivamente. A tela de arame deve passar por debaixo da forma e cobrir uma largura de aproximadamente 50 cm no fundo da cisterna. Depois de colocadas duas camadas de argamassa na parte exterior, a forma de aço é retirada para ser usada na construção de outras cisternas. O interior é rebocado duas vezes e depois coberto com nata de cimento (GNADLINGER , 2008).

Figura 5- Cisterna de Tela e Arame



Fonte: Gnadlinger (2008)

- **Cisterna de Tijolos**

A Cisterna de tijolos, como mostra a Figura 6, também fica cerca de dois terços debaixo do chão como a cisterna de placas de cimento. Ela também exige uma escavação maior, para que se possa trabalhar na parte externa da parede. A parede circular de tijolos é levantada em uma base concretada. A espessura da parede é de 20 cm. A parede é rebocada pelo lado de dentro e de fora e o lado de dentro é coberto com nata de cimento. (GNADLINGER, 1999).



Figura 6-Cisterna de Tijolos

Fonte: Queiroz *et al.* (2017)

- **Cisternas de Cal**

As cisternas de cal, conforme Figura 7, ficam situadas quase na sua totalidade abaixo da superfície, e a parte superior exposta, é pintada com cal. A terra é escavada na medida exata do tamanho da cisterna. A cisterna de cal é também construída com tijolos e revestida com cal pura (QUEIROZ *et al.*, 2017).

Figura 7-Cisterna de Cal

Fonte: Queiroz *et al.* (2017)



Quadro 1 - Vantagens e desvantagens de diferentes tipos de cisternas

Tipo de Cisterna	Vantagens	Desvantagens
<b>Cisterna de tela - arame ou tela – cimento</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fácil construção</li> <li>- Rápida construção</li> <li>- Requer pouca matéria-prima</li> <li>- Praticamente à prova de vazamentos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Uso de chapas de aço</li> <li>- A proporção entre cimento, água e areia tem que ser respeitada rigorosamente</li> <li>- A água esquenta com facilidade</li> <li>- Retirada da água mais complicada devido à altura da cisterna (2m acima do solo) e por corriscos de vazamento caso coloque uma torneira na parede da cisterna</li> <li>- A obra não deve ser interrompida durante a construção, devido a perda de aderência entre as camadas de reboco</li> </ul>
<b>Cisterna de tijolos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Adequada para construções individuais ou coletivas</li> <li>- Além do cimento e do ferro, os materiais são disponíveis no local</li> <li>- Muito barata, se utilizando recursos e trabalho locais</li> <li>- A água permanece fresca</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Demora para construir</li> <li>- Alto risco de vazamentos entre o fundo cimentado e a parede</li> <li>- Exige um trabalho maior de escavação, até 2/3 de sua altura</li> <li>- Em cisternas maiores, o teto de concreto fica relativamente caro</li> </ul>
<b>Cisterna de ferro-cimento</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Adequada para construções individuais</li> <li>- São bastante resistentes</li> <li>- Permitem reparos e inspeções de vazamentos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Demanda grandes quantidades de aço</li> <li>- A proporção entre cimento, água e areia tem que ser respeitada rigorosamente</li> <li>- Construção muito demorada</li> <li>- Exige bastante habilidade dos pedreiros</li> </ul>
<b>Cisterna de cal</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fácil construção</li> <li>- Não precisa ser terminada de uma só vez</li> <li>- Pode ser construída efetivamente sem ajuda financeira externa</li> <li>- Mais resistentes a tensões</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Exige maior trabalho de escavação, pois fica quase que totalmente enterrada</li> <li>- Quase nenhum pedreiro conhece mais a tecnologia da construção com cal por causa da hegemonia do uso do cimento- Só se torna impermeável com o uso de aditivos</li> <li>- A argamassa de cal requer muito mais tempo para endurecer que a de cimento</li> </ul>
<b>Cisterna de placas de concreto</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Materiais de fácil acesso</li> <li>- Fácil para retirar a água</li> <li>- Construção rápida</li> <li>- Baixo custo de construção</li> <li>- A água é mantida fresca</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Requer pedreiros qualificados</li> <li>- Dificuldades para detectar vazamentos</li> <li>- Exige um trabalho maior de escavação, até 2/3 de sua altura</li> <li>- Após a fabricação das placas é necessário aguardar cerca de três semanas para a cura do concreto</li> <li>- O conserto de vazamentos é impossível na maioria das vezes</li> </ul>
<b>Cisternas de Polietileno</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fácil para retirar a água</li> <li>- Fabricação rápida</li> <li>- Rápida implantação</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Renda concentrada nas mãos de poucos empresários</li> <li>- Entregues prontas para as famílias que não participam do processo construtivo</li> <li>- Dependência de empresas</li> <li>- Alto custo, podendo chegar a mais que o dobro do valor de uma cisterna de placas (por exemplo)</li> <li>- Menor autonomia da população</li> </ul>

Fonte: baseado em Gnadlinger (1999) *apud* (SILVA, 2017)

No meio rural, também existe a Cisterna-Calçadão, criada com o intuito de ampliar o estoque de água das famílias, comunidades rurais e populações tradicionais que já possuía a cisterna de placa de cimento de 16 mil litros do P1MC. A Cisterna-Calçadão consiste em um espaço de 200m<sup>2</sup> para captação de água da chuva e reservatório com capacidade para 52 mil litros e tem como finalidade armazenar água para a produção de alimentos, plantas medicinais e criação de pequenos animais, potencializando os quintais produtivos (ASA, 2017). A Figura 8 mostra a Cisterna-Calçadão.

Figura 8-Estrutura básica da Cisterna Calçadão



Fonte: Daki Semiárido Vivo (2021)

### 2.1.2 Tecnologias de tratamento de água da chuva para fins potáveis em áreas rurais

Por não entrar em contato com o solo nem estar diretamente sujeita ao lançamento de poluentes de origem antropogênica, a água da chuva captada do telhado pode constituir uma fonte alternativa de água com qualidade razoável para diversos usos (HAGEMANN, 2009). Diversos fatores influenciam a qualidade da água da chuva e dentre estes se destacam: a localização geográfica da área de captação (proximidade do oceano, áreas urbanas ou rurais), a presença de vegetação, a presença de carga poluidora e a composição dos materiais que formam o sistema de captação e armazenamento (telhados, calhas e reservatório). As condições meteorológicas como intensidade, duração e tipo de chuva, o regime de ventos e a estação do ano também têm forte influência sobre as características das águas pluviais (GONÇALVES *et al.*, 2006).

O trajeto da água desde a fase de captação até o seu consumo final pode estar suscetível a contaminações microbiológicas, ressaltando a importância do manejo adequado da água da chuva, seja para fins potáveis ou não. Uma consideração relevante no processo de captação é a ciência do usuário acerca dos riscos associados ao consumo direto da água da chuva, especialmente em relação à manutenção da área de captação. Isso se torna essencial, pois

animais como pássaros, ratos e outros podem depositar matéria fecal na superfície de coleta, introduzindo microrganismos como bactérias, vírus e protozoários diretamente no reservatório de água coletada (OLIVEIRA, 2021 *apud* DE KWAADSTENIET *et al.*, 2013)

Mediante realização de tratamento, é possível melhorar a qualidade da água da chuva, visando buscar padrões para fins potáveis. Nas áreas rurais, para que as águas da chuva possam ser aproveitadas, é fundamental que se tenha alguns cuidados para minimizar a sua contaminação (NETO, 2015). De acordo com Barcelos (2005) moradores de áreas rurais, sem acesso a água potável, podem coletar e purificar com filtro simples as águas pluviais para beber, pois estas possuem qualidade compatível para esse fim. Existem tecnologias que podem ser empregadas no tratamento da água de chuva e trazer uma melhora na qualidade deste recurso, como a utilização de Pré-filtro; Filtro de Sedimentos e Areia; Filtro de Carvão Ativado; Filtração em cerâmica porosa (vela); Filtração em equipamentos elétricos e Desinfecção. A aplicação combinada dessas tecnologias pode resultar em um sistema abrangente de tratamento, garantindo que a água da chuva atenda aos padrões necessários para usos diversos, incluindo potabilidade.

- **Dispositivo de descarte de água do escoamento inicial**

Os dispositivos utilizados para captação de água da chuva devem prever o descarte dos primeiros 2 mm de chuva (ABNT, 2019) , por isso é ideal a utilização do filtro na composição do sistema de captação de água de chuva, além disso, o filtro tem a responsabilidade de barrar a sujeira mais grossa que vem junto com os resíduos da calha como galhos, folhas, pequenos insetos, penas de pássaros, etc.

Uma tecnologia aplicável em áreas rurais é o método denominado DesviUFPE, desenvolvido pelos pesquisadores da UFPE-Universidade Federal de Pernambuco. A tecnologia é uma barreira sanitária para melhoria da qualidade de água de chuva em zona rural. De acordo com Araújo (2017), o referido dispositivo tem como material construtivo tubos de PVC e se baseia em ambos princípios físicos, de vasos comunicantes e fecho hídrico. Trata-se de um dispositivo com a função de desviar as primeiras águas da chuva, sua instalação precede a entrada da cisterna e funciona como um pré-filtro. À medida que o telhado é lavado, se processa o acúmulo da água nos tubos verticais , conforme Figura 9, e só após estarem completamente cheios é que a água é direcionada para a cisterna. O dimensionamento do sistema DesviUFPE é feito com base na área do telhado, para cada 1m<sup>2</sup> de área deve ser desviado 1L de água, ou seja, para uma área de captação de 60m<sup>2</sup> deve ser instalado um DesviUFPE com capacidade de desvio de 60L.

Figura 9- Ilustração do dispositivo DesviUFPE



Legenda:

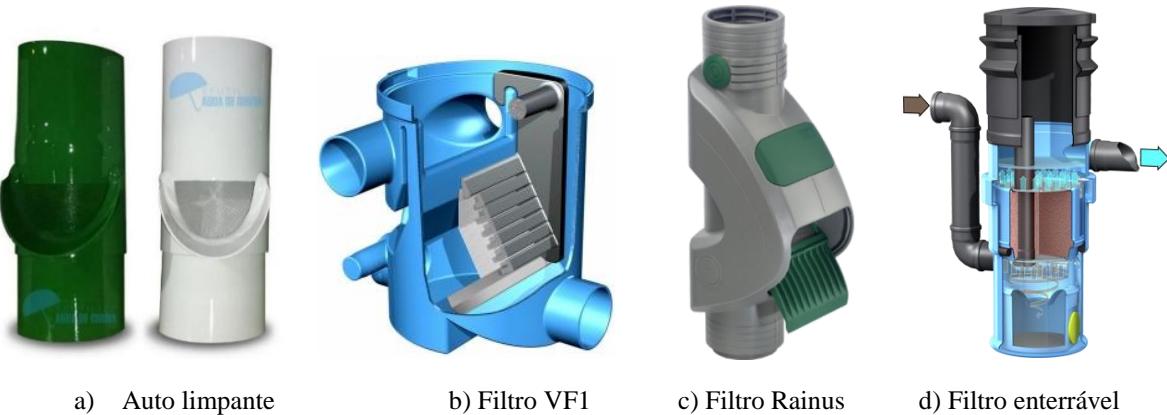
A – Telhado;  
B – Dispositivo de desvio  
em PVC- DesviUFPE;  
C– Cisterna.

Fonte: Lima *et al.* (2012)

No mercado é possível encontrar uma variedade de filtros construídos em PVC, fibra de vidro ou alvenaria. O Filtro Auto limpante, Figura 10a foi desenvolvido para ser instalado na tubulação de descida de água da calha do telhado, ele é feito com tubo de 75mm e serve para telhados de até 50m<sup>2</sup>. A montagem desse Filtro, é feita com dois pedaços de tubo de PVC, um encaixado dentro do outro, com uma tela (tela mosqueteiro) entre os dois tubos, inclinada 45° e uma abertura lateral para o descarte das sujeiras (SEMPRESUSTENTÁVEL, 2014). O Filtro VF1, Figura 10b, é um modelo com sistema duplo de filtragem, para áreas de contribuição de telhado de até 200 m<sup>2</sup>. A água é conduzida das calhas até o Filtro VF1, onde é freada na bacia de retenção superior e direcionada a descer nas cascatas do miolo filtrante, que funciona em dois estágios, primeiro por cascatas que eliminam os sólidos maiores, em seguida por uma malha em aço inox e por gravidade cai no fundo do Filtro VF1 sendo por fim direcionada para a saída que leva ao reservatório (ECOSUSTENTÁVEL, 2023).

No Filtro Rainus, Figura 10c, os detritos são descartados pela frente do filtro, e a água de chuva limpa continua correndo para baixo pelo tubo de descida, indicado para uma área de captação no máximo de 70 m<sup>2</sup> (PLUVIA, 2024). No Filtro enterrável, Figura 10d, a água de chuva entra pelo bocal e os detritos ficam retidos na cesta de plástico que deve ser limpa conforme a necessidade local. Este bocal pode ser usado como entrada adicional ou como ladrão de emergência. A água limpa desce pelo bocal inferior para o reservatório da chuva.

Figura 10- Modelos de filtros disponíveis no mercado



a) Auto limpante

b) Filtro VF1

c) Filtro Rainus

d) Filtro enterrável

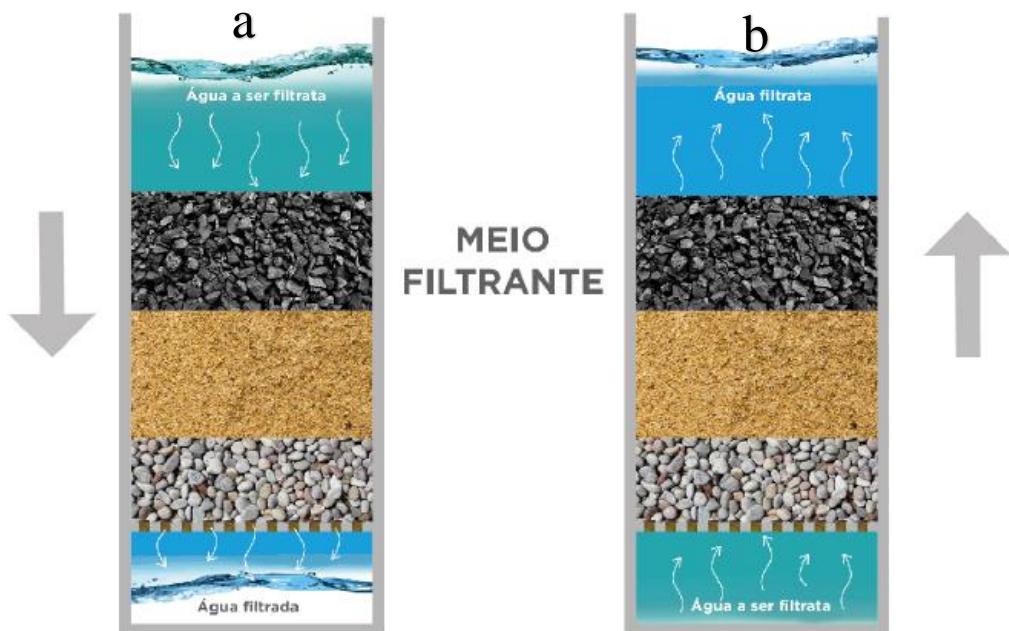
Fonte: Ecosustentável, (2020).

- **Filtro de Areia e Carvão Ativado**

A filtração consiste na remoção de partículas suspensas e coloidais e de microrganismos presentes na água que escoa através de um meio poroso. A areia destaca-se como um dos meios filtrantes amplamente empregados no tratamento da água, devido à sua eficácia na retenção de partículas suspensas. Esse processo ocorre à medida que as partículas, ao atravessarem os espaços entre os grãos de areia, são capturadas pela atração gravitacional e, no caso de partículas com cargas opostas, pela atração eletrostática. Essa capacidade de retenção das impurezas contribui significativamente para a purificação da água (MACEDO, 2000). O sentido da filtração pode ser descendente (Figura 11a), ascendente (Figura 11b) ou uma combinação de ambos, trabalhando em alta taxa de filtração (filtros rápidos) ou baixa taxa de filtração (filtros lentos), estando dependente da tecnologia de tratamento a ser empregada (CESSA, 2020).

A filtração rápida diferencia-se da lenta pelo tipo de mecanismo dominante e pela taxa de aplicação empregada. A primeira é caracterizada pela predominância dos mecanismos físicos e químicos e pela maior taxa de aplicação com relação a segunda, que apresenta prevalência dos mecanismos biológicos de remoção de impurezas. Na filtração rápida a água é filtrada através de um meio granular em um ritmo rápido, removendo partículas maiores e algumas impurezas dissolvidas, já a filtração lenta é altamente eficaz na remoção de microrganismos patogênicos, como bactérias, vírus e protozoários, bem como na remoção de substâncias dissolvidas e impurezas orgânicas (SANTOS, 2004).

Figura 11- Sentido da filtração, em (a) descendente e em (b) ascendente.



Fonte: (CESSA, 2020)

A filtração lenta emprega uma taxa baixa de filtração, sendo adotada nos projetos da FUNASA entre 3,0 a 5,0  $\text{m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$  (BRASIL, 2015). Na NBR12.216 é recomendada taxa não superior a 6,0  $\text{m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$  e, já na filtração rápida, a taxa de filtração aplicada é bem superior, segundo NBR 12.216, devendo ser utilizada taxa de até 180  $\text{m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$  para filtro com apenas uma camada filtrante e de até 360  $\text{m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$  para filtro de dupla camada (ABNT, 1992). O filtro lento de areia, é uma tecnologia socioambiental de fácil acesso a toda população. É construído a partir de materiais simples e baratos (cano PVC, areia, brita ou seixos e carvão). A Tecnologia funciona usando a ação da gravidade para fazer com que a água desça naturalmente, passando lentamente pelas camadas superpostas de areia, carvão e brita ou seixos. Assim, as partículas sólidas maiores dissolvidas, se detém nos primeiros centímetros da camada de areia e vão formar um lodo orgânico, repleto de micro organismos biófagos, denominados “biofilme”. Concomitantemente, as partículas menores também dissolvidas, inclusive os coliformes, são digeridas por estes organismos biófagos microscópicos do biofilme, que se colam e se reproduzem naturalmente, nas camadas de lodo orgânico (TAVARES, 2017).

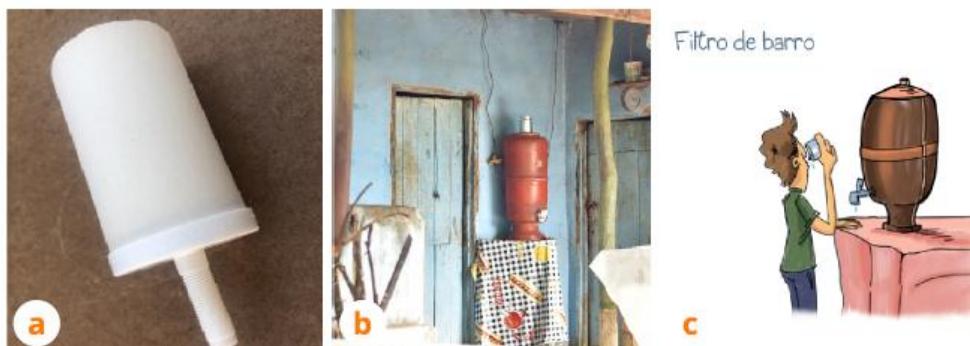
Além da areia o Carvão é outro componente utilizado no tratamento de água de chuva. O carvão ativado é o nome comercial de um grupo de carvões que se caracterizam por ter uma estrutura porosa e uma superfície interna elevada. Representa um tipo comum de adsorvente que tem grande afinidade com compostos orgânicos, sendo um dos adsorventes mais utilizados em processos de adsorção. Os filtros de carvão são eficazes para a remoção de cloro, mercúrio,

iodo, e alguns compostos inorgânicos, bem como muitos contaminantes orgânicos problemáticos, tais como sulfeto de hidrogênio ( $H_2S$ ), formaldeído ( $H_2CO$ ) e compostos orgânicos voláteis (COV) (KEARNS, 2008), o que se encaixa na remoção de alguns poluentes que estão presentes na água de chuva.

- **Filtração em cerâmica porosa (vela)**

Nessa tecnologia, a água passa lentamente pelo filtro de cerâmica porosa conforme Figura 12a, também denominada de “vela”, retendo, assim, partículas finas, entre as quais estão os microrganismos. A água filtrada goteja no compartimento inferior, onde é armazenada para consumo e retirada por uma torneira na parte inferior do recipiente. Deve ser posicionado em um local fresco e arejado, protegido da incidência solar. Todo o conjunto de filtração e armazenamento (Figura 12b) pode receber o nome “filtro de barro”, existindo algumas variáveis, tais como o recipiente inferior ou superior em plástico. Ainda, existem algumas velas que podem possuir seu interior de carvão ativado, o que torna o sistema mais eficiente, ou seja, a água apresentará melhor qualidade (CESSA, 2020).

Figura 12- Filtro de Barro



Fonte: (CESSA, 2020)

- **Filtração em equipamentos elétricos**

Essa tecnologia utiliza quase sempre filtros com carvão ativado, o que melhora significativamente a qualidade da água. No entanto, a falta de manutenção com a substituição do elemento filtrante torna a filtração ineficiente, colocando em risco os usuários. Todo elemento filtrante tem uma vida útil que depende da sua utilização, ou seja, do quanto de água que é consumida. Geralmente o fabricante recomenda sua substituição a cada seis meses. Esse tipo de sistema, conforme Figura 13, requer uma pressão mínima para o seu funcionamento, o que pode ser proveniente da altura da caixa d’água em relação ao filtro (CESSA, 2020).

Figura 13- Filtração em equipamentos elétricos



Fonte: (CESSA, 2020)

- **Desinfecção**

A desinfecção é uma operação unitária que tem como propósito inativar, de modo econômico, os microrganismos patogênicos presentes na fase líquida que não foram removidos durante as etapas anteriores do tratamento da água. Pode ser realizada basicamente por agentes físicos (fervura, radiação solar e radiação ultravioleta) ou químicos (cloro, dióxido de cloro, cloraminas e ozônio) (CESSA, 2020).

O mais antigo processo de desinfecção consiste na fervura da água, assegurando a inativação da totalidade dos microrganismos após um tempo de ebulição de um minuto. A desinfecção através da fervura da água é ainda uma prática utilizada em algumas residências e que se mostra eficiente, melhorando a qualidade da água consumida pelas pessoas. Esta constitui uma prática recomendável quando há dúvida sobre a potabilidade da água ou em uma situação de emergência. Todavia, tal alternativa é praticamente restrita ao consumo doméstico (BRASIL, 2006).

A desinfecção por meio da radiação solar é uma prática não muito utilizada, mas é bastante eficiente. Uma maneira sustentável, é a utilização de garrafas PET, para o sistema de desinfecção. A metodologia SODIS, (*Solar Water Disinfection*) ou Desinfecção Solar da Água, faz uso de dois elementos da radiação: a radiação UV-A, responsável pela modificação do DNA dos microrganismos e a radiação infravermelha que proporciona a elevação da temperatura da água, considerando-se que os microrganismos são sensíveis ao aquecimento (BERTHOLINI, 2011). A utilização de garrafas PET não liberam substâncias tóxicas, já que a interação entre o plástico e as radiações ocorrem na parte de fora da garrafa (CAVALLINI *et al.*, 2018). Em dias com exposição plena de sol, as garrafas devem ser expostas ao sol, no sentido horizontal, durante seis horas ininterruptas, sempre no intervalo de maior pico de insolação (09h00min e

16h00min). Em dias com exposição solar parcial, em função do encobrimento por nuvens, este prazo dilata-se para dois dias consecutivos, conforme Figura 14.

Figura 14- Metodologia SODIS



Fonte: Cavallini *et al.* (2018)

Em função das suas características, o cloro é o mais utilizado para a desinfecção da água, podendo ser utilizado na forma líquida (hipoclorito de sódio), sólida (hipoclorito de cálcio) ou como líquido-gasoso (cloro gasoso). A escolha do produto a ser utilizado ocorre em função de uma série de fatores, tais como: eficiência, custo, quantidade necessária do reagente, facilidade da operação, segurança, etc. Após o tratamento com cloro, permanece, na água, certa quantidade de cloro residual, bem como subprodutos da desinfecção (BRASIL, 2014).

## 2.2 Tecnologias de drenagem de águas pluviais

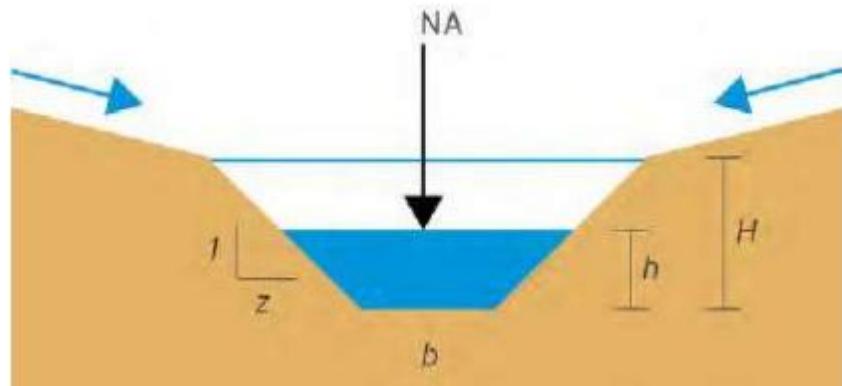
A drenagem pluvial, seja focada na área urbana ou rural, envolve o conhecimento de termos e conceitos fundamentais, dentre os quais destacam-se as medidas de controle na fonte. O controle na fonte é realizado por dispositivos instalados no sistema de drenagem, e tem como função abater vazões e volumes de escoamento superficial, a partir da infiltração e/ou armazenamento. Dentre suas principais características têm-se por exemplo o abatimento de vazão por infiltração, ou seja, quando parte ou todo o volume de águas pluviais é infiltrado no solo, e o armazenamento, quando o pico de vazão é amortecido pelo armazenamento temporário das águas pluviais pelo efeito de “regularização” da vazão. Em relação a geometria podem ser classificados como lineares, quando seu comprimento é muito maior que a sua largura, como exemplo as trincheiras e valas; e localizado ou pontual, quando ocupa um espaço restrito e delimitado, tais como os poços e reservatório de retenção (ADASA, 2023). O Quadro 2 apresenta as vantagens e desvantagens de cada tecnologia.

### 2.2.1 Dispositivos de controle na fonte

- **Reservatório de Retenção**

Reservatórios de retenção, também conhecidos como bacias ou reservatórios de infiltração, bacia de contenção, ou bolsões, são pequenos reservatórios que possuem a forma de bacia, construídos nos terrenos, ou seja, são uma área escavada que tem como principal função a contenção das enxurradas, por meio da coleta da água que escoa em excesso em propriedades rurais ou estradas vicinais e a recarga de água subterrânea (CESSA, 2020). Na zona urbana os reservatórios de retenção são depressões lineares, gramadas, com declividade próxima a zero, concebidas para funcionar como canais, onde o escoamento pluvial é desacelerado e infiltrado durante o percurso da água, como mostra a Figura 15.

Figura 15- Imagem ilustrativa de uma Reservatório de Retenção na zona urbana



Fonte: ADASA (2023)

- **Barraginhas**

Nas zonas rurais as bacias de retenção são mais conhecidas como barraginhas, como mostra a Figura 16, e têm sido usadas comumente como meio de armazenamento de água para fins agropecuários, e, em projetos de drenagem, para reduzir o pico do escoamento para um nível compatível com a capacidade do meio receptor (LIMA; SILVA; RAMINHOS, 2006).

Figura 16- Imagem ilustrativa de Barraginhas na zona rural

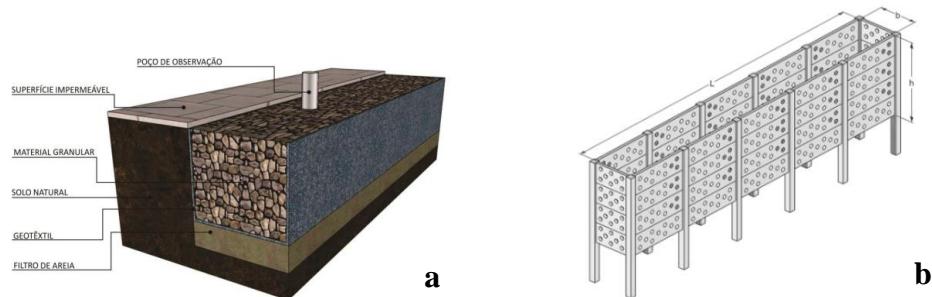


Fonte: Pires; Souza (2003)

- **Trincheira de Infiltração**

As trincheiras possuem como finalidade reduzir o volume de água referente ao escoamento superficial, armazenando água precipitada por um tempo até que se infiltre no solo, diminuindo a probabilidade de enchentes (FRANCHINI, 2017). As trincheiras de infiltração, como mostra a Figura 17, são áreas escavadas preenchidas com material granular, com alta porosidade, para a estabilidade dos taludes e controle para que materiais mais grosseiros não entrem no sistema. Para controle e prevenção dos finos, geralmente é utilizada manta geotêxtil. A trincheira de infiltração sem preenchimento necessariamente necessita de uma estrutura de contenção, onde normalmente se utiliza placas de concreto perfuradas ou tijolos. Ambas trincheiras com preenchimento (Figura 17a) e sem preenchimento (Figura 17b) necessitam de manta de geotêxtil para evitar a entrada de sedimentos de baixa granulometria, principalmente no ponto de entrada. Na trincheira com preenchimento a manta geotêxtil deve envolver todo o material (brita 1 ou argila expandida).

Figura 17- trincheira de infiltração com preenchimento (a) e sem preenchimento (b)


 Fonte: Melo *et al.* (2016)



Lecchi (2021) analisou o impacto da adoção de técnicas compensatórias lineares em drenagem urbana na região da rodoviária do município de Aracruz/ES, visando identificar como as trincheiras de infiltração podem contribuir para evitar o problema de alagamento em alguns pontos próximos à rodoviária. A autora dimensionou uma trincheira de infiltração para um ponto próximo à rodoviária, com base na metodologia descrita por Baptista, Nascimento e Barraud (2015), com o uso do método das chuvas, considerando a vazão constante e declividade nula. Foram adotadas as dimensões e dados para uma trincheira de infiltração de 7m de comprimento (L); 2m de largura (l) e 1m de profundidade (p), tempo de retorno de 5 anos; e considerada a porosidade do material de preenchimento ( $n = 0,3$ ); condutividade hidráulica de  $q_{as}=10^{-5}$  m/s; coeficiente de segurança como 0,3. Como resultado, a autora identificou que a capacidade de armazenamento da trincheira atende ao volume de chuva precipitado na área de estudo.

- **Valetas**

Algumas vias na área rural, embora não possuam pavimento impermeável ou semipermeável, podem apresentar algo que seja semelhante ao meio fio/sarjetas e a outras estruturas que se assemelham às bocas de lobo em termos de função. Um exemplo disso é a existência de valetas localizadas ao longo das vias rurais, cujo objetivo é conduzir o volume de escoamento superficial e proteger as vias contra as forças cisalhantes, fruto desse escoamento, que provocam os processos erosivos (CESSA, 2020). As Figuras 18 e 19 mostram uma foto na qual é possível observar essas canaletas ou valetas.

Figura 18- Exemplo de valeta na zona rural como estrutura de microdrenagem



Fonte: Acervo do Projeto CESSA (2020)

Figura 19- Exemplo de valeta na zona rural de Formosa-GO como estrutura de contenção de enxurradas para captação da água pluvial até uma bacia de retenção (barraginha)

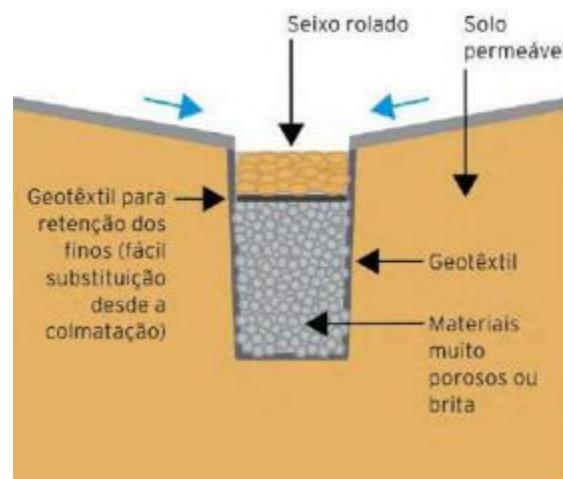


Fonte: Autora (2023)

- **Poço de Infiltração**

Os poços de infiltração são dispositivos localizados que facilitam a infiltração da água captada no solo. Eles são preenchidos com material granular, como seixo, cascalho, argila expandida ou brita sem calcário, com o objetivo de armazenar a água e sustentar as paredes laterais, conforme Figura 20. Para aumentar a capacidade de armazenamento, os poços podem ser construídos sem preenchimento interno, utilizando paredes estruturais porosas para contenção. Caso as camadas superiores do solo sejam pouco permeáveis, os poços podem ser aprofundados até alcançar uma camada de solo mais permeável (ADASA, 2023).

Figura 20- Exemplo de Poço de Infiltração



Fonte: ADASA (2023)



Quadro 2- Vantagens e desvantagens de diferentes tipos de tecnologias de drenagem de águas pluviais

Dispositivo	Recomendação de Construção	Vantagens	Desvantagens	Principais Problemas
Trincheira de Infiltração	-Recomendada para áreas com solo permeável e onde há espaço disponível para escavações longas. Ideal para terrenos planos ou com leve declive.	- Boa capacidade de infiltração - Utiliza materiais simples como brita - Pode ser integrada ao paisagismo	- Necessita de área maior - Risco de entupimento/colmatação com sedimentos - Manutenção periódica necessária	- Obstrução por sedimentos - Proliferação de plantas invasoras - Esgotamento da capacidade de infiltração com o tempo
Poço de Infiltração	-Adequado para locais com baixa disponibilidade de espaço e alta demanda por infiltração. -Recomendado em áreas com lençóis freáticos profundos ou para recarga rápida de aquíferos.	- Alta capacidade de armazenamento de água - Recarrega rapidamente os lençóis freáticos	- Custo elevado de escavação - Dificuldade em solos rochosos ou compactados	- Assoreamento do poço - Perda de eficiência em solos argilosos ou compactos - Risco de colapso estrutural em casos de má construção (piping)
Valetas	-Indicada para captar água de escoamento superficial, como em áreas agrícolas ou margens de estradas.	-Baixo custo - Fácil construção - Simples manutenção	- Capacidade limitada de infiltração	- Sedimentação rápida, que reduz a capacidade de armazenamento - Dificuldade em áreas de declive acentuado - Requer limpezas de tempos em tempos para manter eficiência
Reservatório de retenção	-Requerem maior espaço físico para serem construídos em comparação a outros dispositivos, funcionam melhor em áreas com topografia relativamente plana.	- Redução do Escoamento Superficial, - Aumento da Recarga do Aquífero, - Controle de Enchentes - Adaptação em Áreas Urbanas e Rurais:	- Requer Manutenção Regular, - Dependência de Espaço, - Risco de Contaminação do Solo e Aquíferos	- Risco de acúmulo de sedimentos e contaminação; manutenção pode ser complexa em áreas de difícil acesso.
Barraginhas (Bertoni, 1959)	-Locais com necessidade de retenção de águas pluviais em áreas rurais	-Redução de erosão e enxurradas, aumento da infiltração de água no solo, -Baixo Custo de Implementação, -Benefício para a Agricultura	- Exigem espaço considerável e manutenção regular, principalmente para remoção de sedimentos.	- Acúmulo de sedimentos e risco de assoreamento; podem perder eficiência sem manutenção regular.

Fonte: Adaptado de ADASA (2023) e Bertoni (1959)



## 2.2.2 Variáveis hidrológicas essenciais para o dimensionamento de estruturas de drenagem

- **Tempo de Recorrência**

O tempo de recorrência, também conhecido como período de retorno, refere-se ao intervalo médio de tempo, geralmente expresso em anos, durante o qual um determinado evento pode ocorrer ou ser superado. No contexto de estruturas hidráulicas, esse termo é entendido como o período em que uma chuva, com intensidade e duração específicas, será igualada ou excedida. Esse intervalo é essencial para determinar as enchentes de projeto que guiarão o dimensionamento dessas estruturas, garantindo que elas suportem as enchentes sem risco de falha. A escolha do tempo de recorrência está diretamente ligada a considerações econômicas e de segurança (DNIT, 2022).

- **Tempo de concentração**

Em hidrologia, o tempo de concentração é o período necessário para que uma gota d'água percorra superficialmente a distância do ponto mais afastado da bacia de contribuição até o exutório. Também pode ser entendido como o tempo que o deflúvio leva para alcançar o curso principal, partindo dos pontos mais distantes da bacia até o local onde se deseja medir a vazão. Outra definição considera o tempo entre o início da precipitação e o momento em que toda a bacia está contribuindo para o fluxo. A determinação do tempo de concentração depende principalmente do comprimento e da declividade do curso d'água principal, embora alguns autores também o relacionem à área da bacia hidrográfica (DNIT, 2022). O tempo de concentração das bacias deve ser avaliado utilizando metodologias e modelos tradicionais que forneçam resultados consistentes e levem em consideração fatores como o comprimento e a declividade do talvegue principal, a área da bacia, a cobertura vegetal, o uso do solo e distinção entre área urbana e rural, entre outros aspectos.

- **Intensidade, Duração e Frequência – Curva IDF**

A curva IDF (Intensidade-Duração-Frequência) é uma ferramenta fundamental na hidrologia que relaciona a intensidade de precipitação com a duração de um evento de chuva e a frequência com que esse evento é esperado ocorrer. Ela é usada principalmente para o dimensionamento de estruturas de drenagem e para a análise de riscos de inundação. A curva IDF é gerada a partir de dados históricos de precipitação e permite calcular a intensidade da chuva para diferentes durações e tempos de retorno, sendo essencial para



projetar sistemas de manejo de águas pluviais capazes de suportar eventos de chuva específicos. (TUCCI, 2007)

- **Coeficiente de Escoamento Superficial**

O Coeficiente de escoamento superficial, ou coeficiente runoff, ou coeficiente de deflúvio é definido como a razão entre o volume de água escoado superficialmente e o volume de água precipitado. Além da capacidade de infiltração do solo e de sua cobertura, outros fatores como a declividade do terreno e o nível de saturação do solo também afetam o coeficiente C (ADASA, 2023). Como se trata de um método simplificado, recomenda-se adotar coeficientes de escoamento superficiais extraídos da literatura especializada, que os relacionam ao uso do solo, tal como o Quadro 3 abaixo:

Quadro 3: Coeficiente de escoamento superficial/ deflúvio/runoff

TIPO DE SUPERFÍCIE	COEFICIENTE DE DEFLÚVIO “c”
<b>Ruas:</b>	
Asfalto	0,70 a 0,95
Concreto	0,80 a 0,95
Tijolos	0,70 a 0,85
Trajetos de acesso a calçadas	0,75 a 0,85
Telhados	0,75 a 0,95
<b>Gramados; solos arenosos:</b>	
Plano, 2%	0,05 a 0,10
Médio, 2 a 7%	0,10 a 0,15
Íngreme, 7%	0,15 a 0,20
<b>Gramados; solo compacto:</b>	
Plano, 2%	0,13 a 0,17
Médio, 2 a 7%	0,18 a 0,22
Íngreme, 7%	0,15 a 0,35

Fonte: DNIT (2005)

- **Teste de Percolação**

O ensaio de percolação é necessário para determinar a capacidade de percolação do solo, o qual simula a condição de solo saturado (condição crítica no sistema de absorção), procedimento previsto no anexo A da NBR 13969/97 (ABNT, 1997).

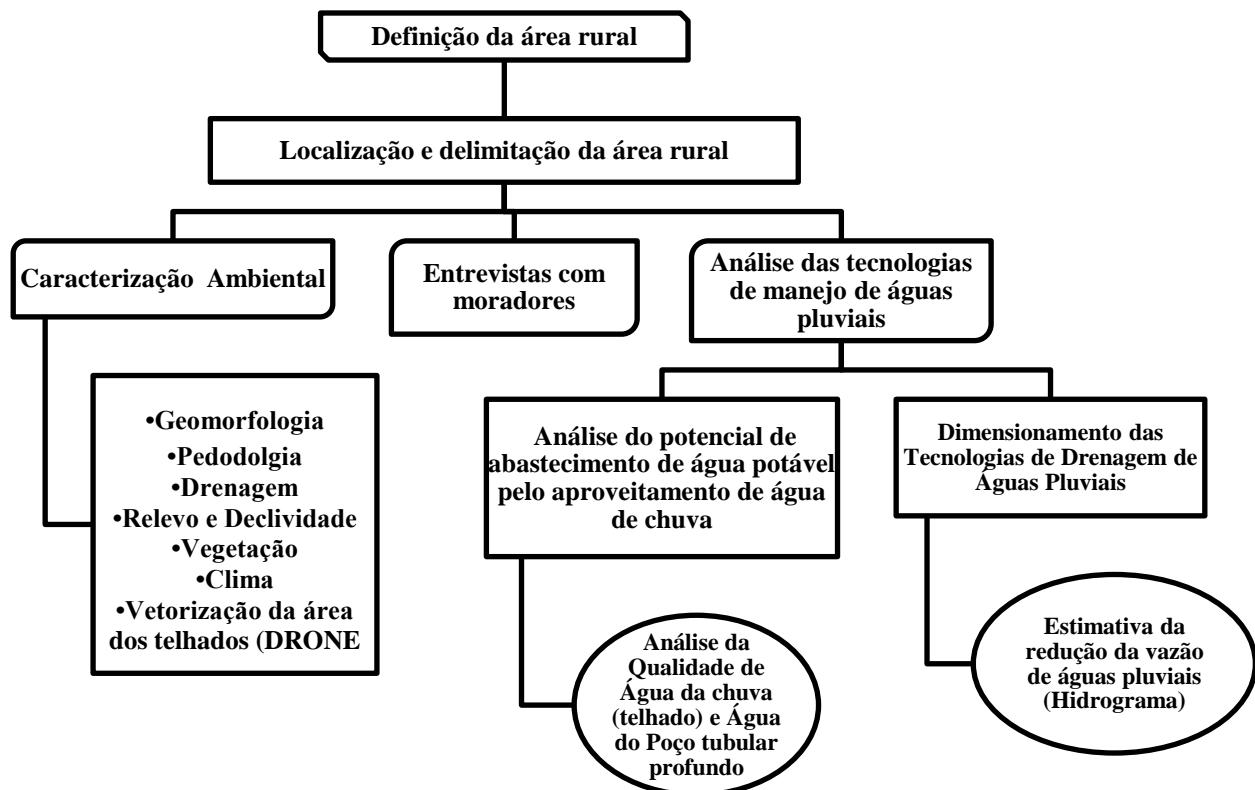
Comumente conhecido como teste de infiltração, sua finalidade é determinar a capacidade de absorção de água em áreas de interesse para a engenharia, e através dos cálculos necessários fornecer o coeficiente de infiltração do solo (CI). Por definição, o coeficiente de infiltração representa o número de litros que 1 m<sup>2</sup> de área de infiltração

do solo é capaz de absorver em um dia. A realização deste ensaio é um serviço preliminar para a elaboração de projetos e execução das obras, sendo indispensável para o projeto hidrossanitário, dimensionamento de tratamento de esgoto (fossas sépticas, filtros, sumidouros) e dispositivos de infiltração (ABNT, 1997).

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

Para alcançar os objetivos do trabalho, o presente estudo seguirá os seguintes passos: definição da área rural que será objeto de estudo; caracterização ambiental da área de estudo (geomorfologia, pedologia, geologia, drenagem, relevo, declividade, vegetação, clima, vetorização da área dos telhados); entrevistas com os moradores da área rural escolhida para identificação das demandas hídricas e fontes de água disponíveis na área rural; análise das tecnologias de manejo de águas pluviais mais adequadas à área rural definida; análise do potencial de abastecimento de água potável pelo aproveitamento de água de chuva; análise da qualidade de água da chuva (telhado) e do poço tubular profundo; análise das tecnologias de drenagem de águas pluviais e estimativa da redução da vazão de águas pluviais com a implantação das tecnologias mais adequadas na área de estudo, conforme Figura 21.

Figura 21- Fluxograma das etapas seguidas



Fonte: Autora (2024)



### 3.1 Localização e delimitação da área de estudo

O município de Formosa possui uma área territorial de 5.804,292 km<sup>2</sup> e uma população estimada de 125.705 pessoas (IBGE, 2021), e se destaca no cenário nacional como grande produtor agropecuário. Segundo o INCRA (2022), Formosa-GO possui 15 assentamentos rurais com 1.491 famílias de agricultores. O Projeto de assentamento rural (PA) Barra Verde está localizado a 170 km da zona urbana, na região norte do município, sentido município Flores de Goiás-GO, coordenadas geográficas Latitude 14°33'59.00"S e Longitude 47°9'48.17"O, conforme ilustrado na Figura 22. O assentamento rural PA Barra Verde foi criado pela Reforma Agrária em 03 de julho de 2009 (INCRA, 2013), ocupa uma área total de 2.451 ha, e conta com 64 parcelas com área média de 20 ha, além de 1 área comunitária, área de Reserva Legal e APP-Área de Preservação Permanente de 66ha e 17,57 ha de estradas principais.

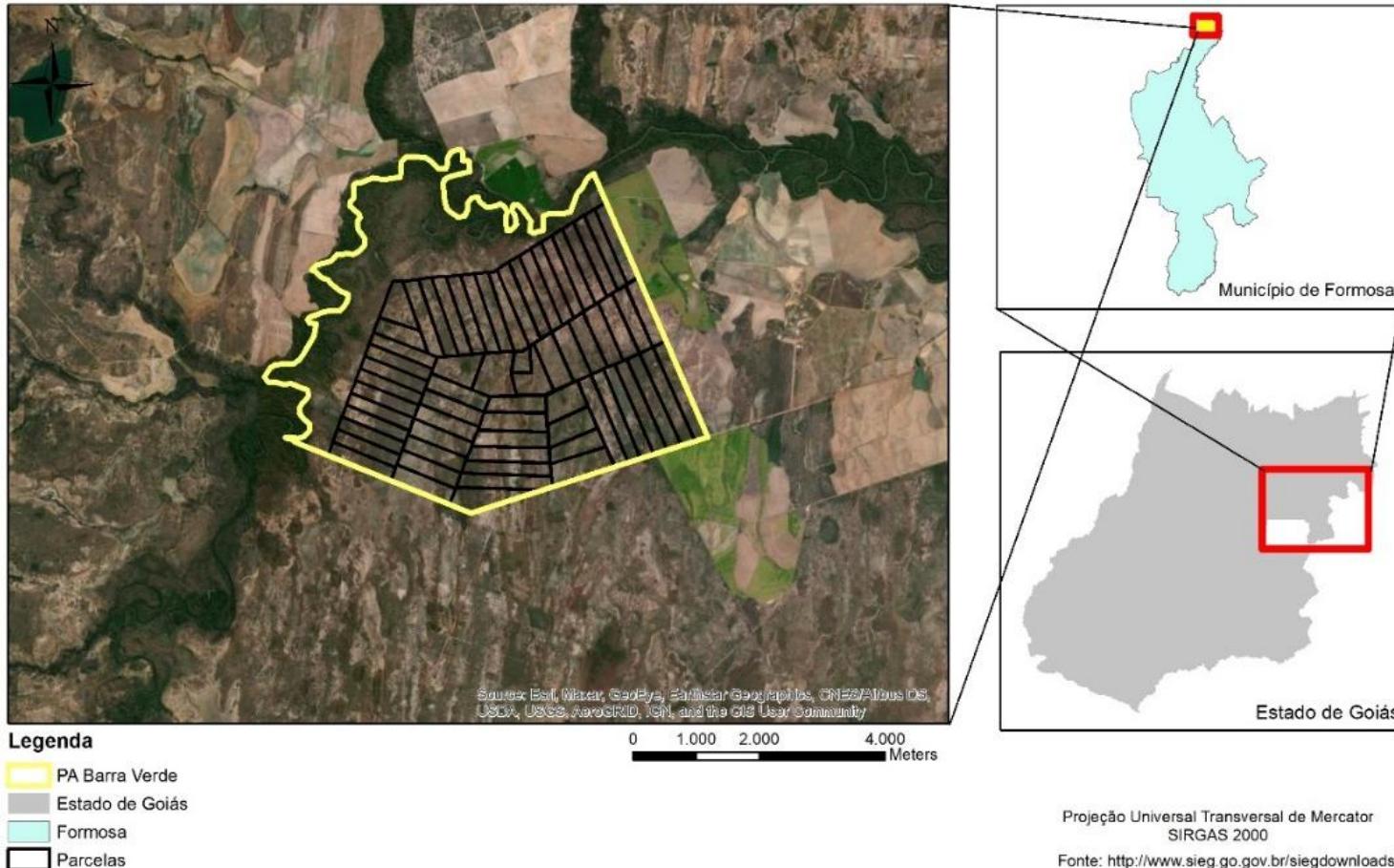
O assentamento rural PA Barra Verde não possui ordenamento territorial, pois o Plano Diretor do município de Formosa contempla apenas a área urbana. Segundo a Secretaria Municipal de Agricultura de Formosa-GO (comunicação pessoal, 16 de mai. 2022), o assentamento rural (PA) Barra Verde é um exemplo de comunidade rural que sofre anualmente com alagamentos em períodos de chuva, principalmente nas estradas de acesso e com a indisponibilidade de água potável para consumo humano, sendo, portanto, o objeto de estudo do presente trabalho.

A delimitação da área de estudo foi feita utilizando o georreferenciamento do assentamento contendo as informações de coordenadas geográficas de cada parcela e da área de Reserva Legal. O mapeamento da área foi fornecido pela Secretaria Municipal de Agricultura de Formosa-GO (comunicação pessoal, 16 de mai. 2022). A composição destes dados georreferenciados, o aprimoramento e processamento dos existentes se deu no ambiente dos programas computacionais Google Earth Pro e ArcGIS 10.2.



Figura 22: Mapa Localização PA Barra Verde.

**MAPA DE LOCALIZAÇÃO  
PA BARRA VERDE**



Fonte: Sistema Estadual de Geoinformação (2020)



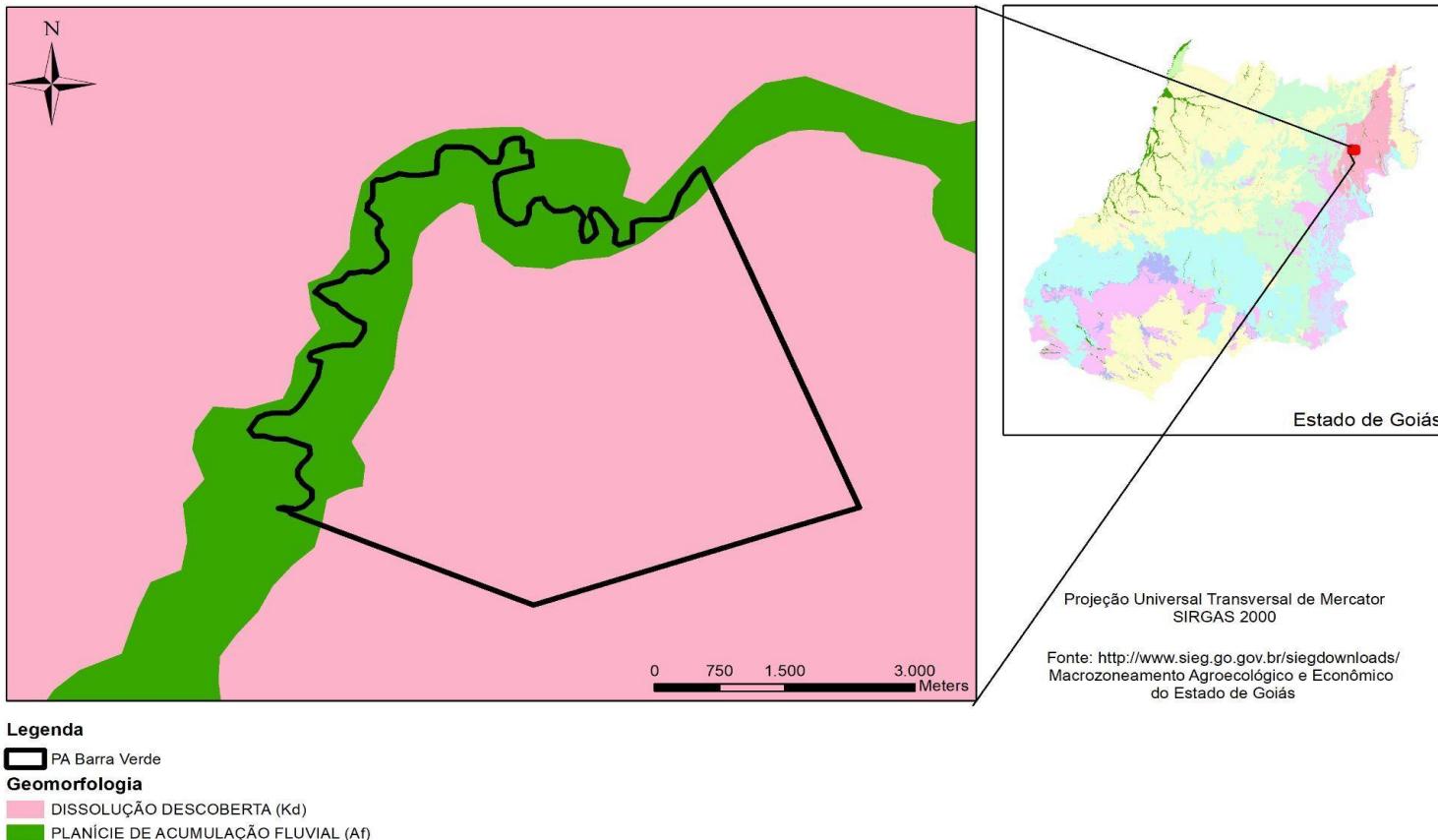
### 3.2 Caracterização ambiental da área de estudo

- **Geomorfologia**

A área de estudo encontra-se na Unidade Geomorfológica da Superfície do Vão do Paranã, na região geomorfológica das superfícies aplainadas, do domínio dos planaltos em estruturas sedimentares concordantes (SIEG-GO, 2023). A geomorfologia da área de estudo é composta por paisagens de superfícies planas, com acumulação de sedimentos fluviais arenosos ou arenoargilosos (Teixeira *et al.*, 2019). Está sujeita às cheias e a inundações periódicas, onde são encontrados solos formados sob essas condições de hidromorfismo, os Gleissolos. Na Figura 23 é possível observar as delimitações da geomorfologia local. Em preto temos a delimitação da área de estudo, em rosa a área classificada como Dissolução Descoberta (Kd), e em verde planície de acumulação fluvial (Af).



Figura 23: Geomorfologia PA Barra Verde

GEOMORFOLOGIA  
PA Barra Verde

Fonte: Sistema Estadual de Geoinformação (2022)



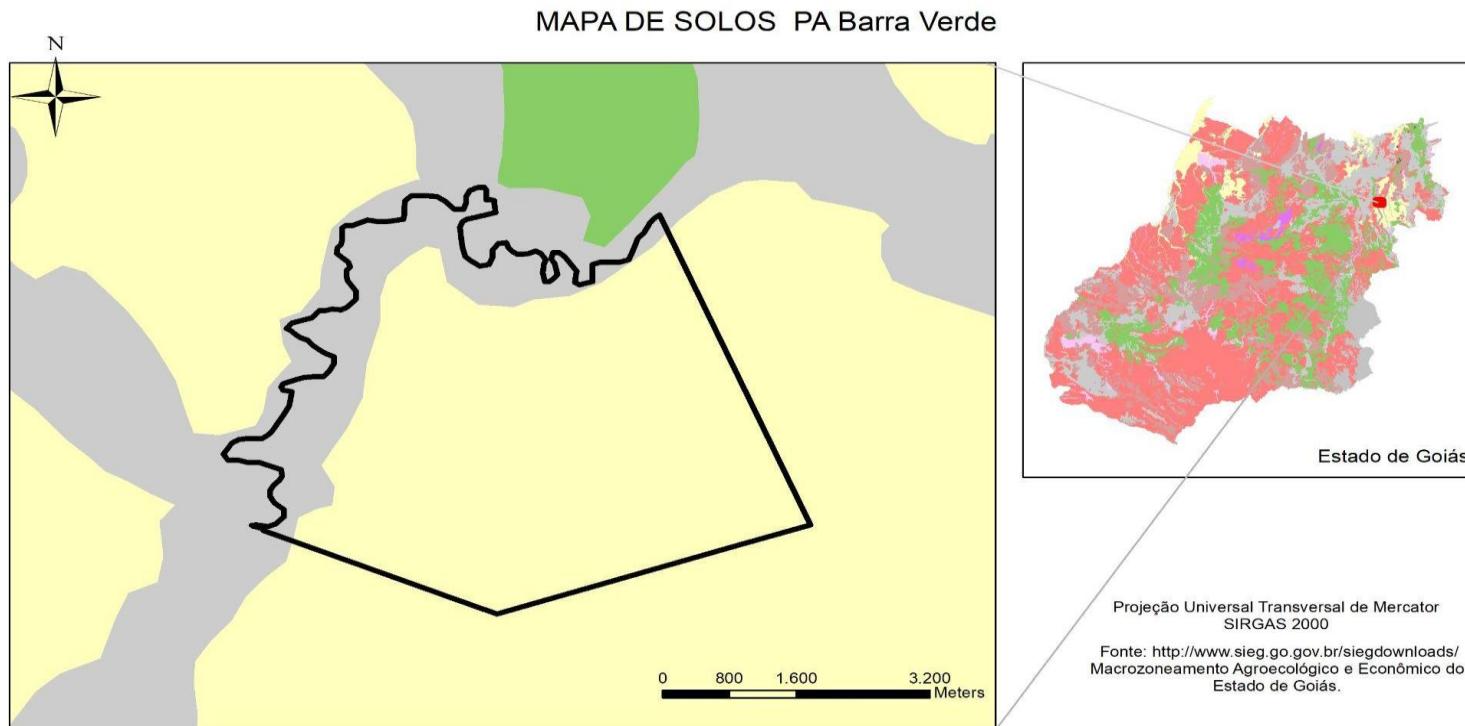
- **Pedologia e Geologia**

Conforme a Embrapa (2023), na área pesquisada, são encontradas cinco classes de solos, como: Latossolos, Cambissolos, Neossolos, Plintossolos e Gleissolos. A área, por estar próxima da margem do Rio Paraná, é composta por solos aluviais. Os solos que compõem esses ambientes são os hidromórficos, e estão sujeitos às constantes variações da subida e descida das águas dos rios com processos de deposição/erosão, caracterizando-se como ambientes fortemente instáveis do ponto de vista da dinâmica ambiental (Teixeira *et al.*, 2019). Na Figura 24, em bege claro temos a presença mais acentuada de Plintossolos e em cinza a presença de Neossolos. Os plintossolos exibem grande variabilidade em suas propriedades químicas devido aos ciclos periódicos de umedecimento e secagem aos quais são submetidos. Estes solos são característicos de regiões quentes e úmidas, com uma estação seca bem definida, e são comumente encontrados em terrenos de várzeas, áreas com relevo plano ou suavemente ondulado, onde ocorre significativa movimentação lateral de água.

Na região do Assentamento Barra Verde a geologia é caracterizada em duas classificações. Parte trata-se de Paraopeba e parte depósitos aluvionares (Figura 25). Os depósitos aluvionares, conforme Guerra (2003) são detritos ou sedimentos de qualquer natureza, carregados e depositados pelos rios, onde coincide com a área de preservação permanente da área.



Figura 24: Mapa Solos PA Barra Verde.



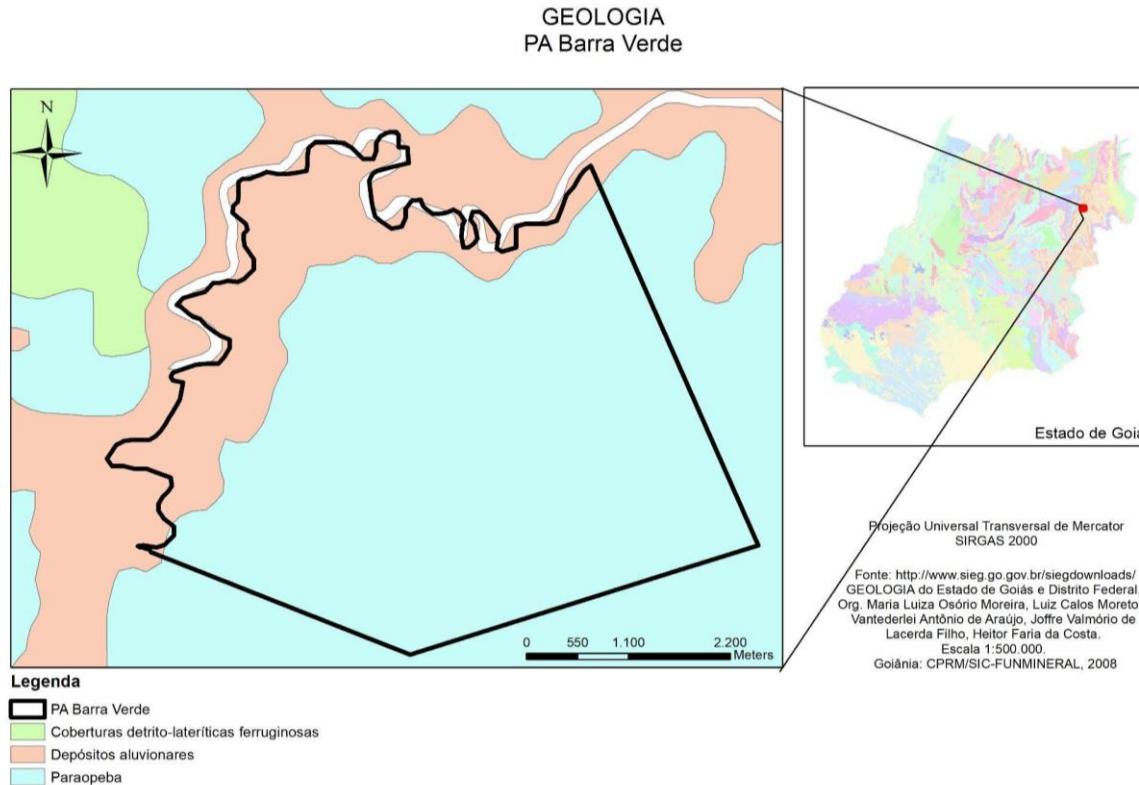
**Legenda**

PA Barra Verde		Argissolos	Latossolos
<b>Solos</b>		Cambissolos	Neossolos
Afloramento		Chernossolos	Planossolos
Aqua		Gleissolos	Plintossolos

Fonte: Sistema Estadual de Geoinformação (2022)



Figura 25: Geologia PA Barra Verde.



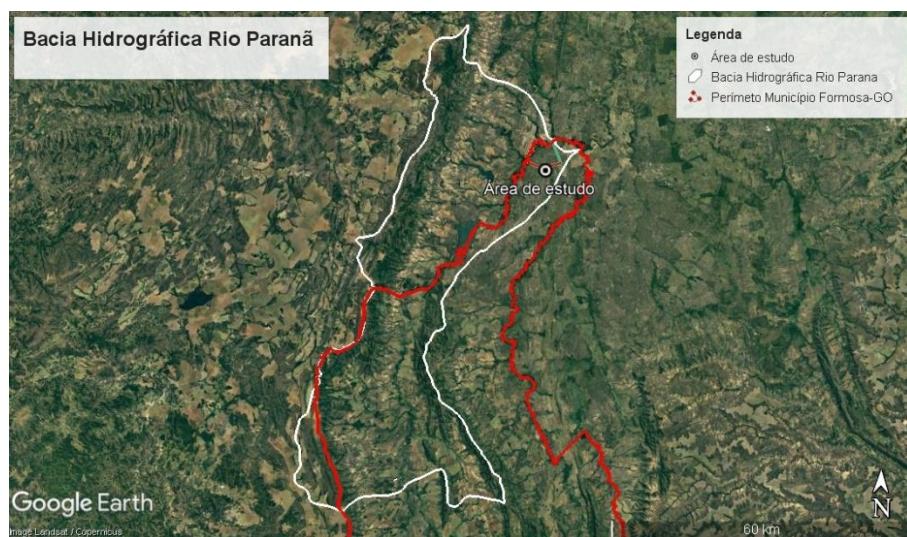
Fonte: Sistema Estadual de Geoinformação (2022)



- **Drenagem**

A área de estudo está localizada na Bacia Hidrográfica do Rio Paraná, conforme ilustrado na Figura 26. Em razão de estar localizado na região das Superfícies Aplainadas do Vão do rio Paraná, e contar com um relevo de fracos declives, a drenagem da área do Assentamento Rural PA.Barra Verde fica comprometida. Conforme vistorias realizadas no local, foi observado que as características de drenagem do terreno dificultam o escoamento das águas pluviais em direção ao Rio Paraná (Figura 27).

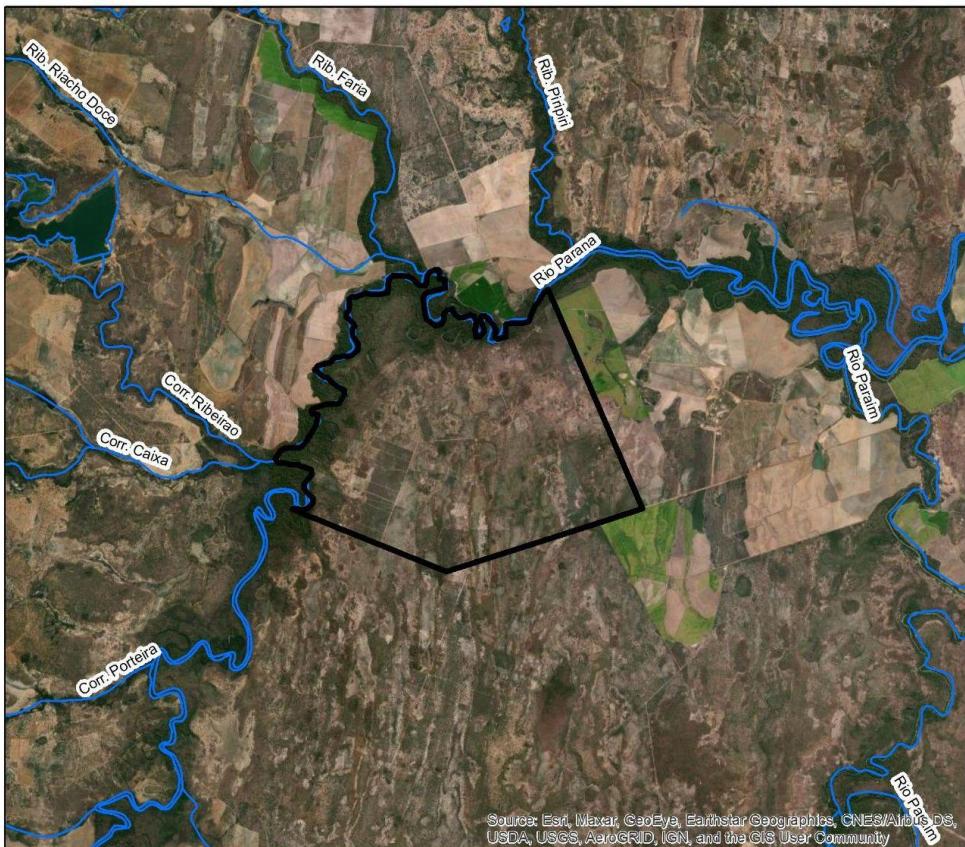
Figura 26- Bacia Hidrográfica Rio Paraná PA Barra Verde



Fonte: Sistema Estadual de Geoinformação (2022)



Figura 27- Hidrografia PA Barra Verde

MAPA - HIDROGRAFIA  
PA Barra Verde

Source: Esri, Maxar, GeoEye, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AeroGRID, IGN, and the GIS User Community

## Legenda

- PA Barra Verde
- Hidrografia



0 1.250 2.500 5.000 Meters

Sistema Cartográfico do DF - SICAD  
Projeção Universal Transversal de Mercator  
SIRGAS 2000

Fonte: <https://www.usgs.gov/>  
<http://www.sieg.gov.br/siegdDownloads/>

Fonte: Sistema Estadual de Geoinformação (2022)

- **Estradas Vicinais**

O Assentamento PA Barra Verde conta com 4 estradas principais e 3 estradas secundárias que somam aproximadamente uma área de 17,57ha e dão acesso às 64 parcelas. As estradas principais possuem uma largura de 4m aproximadamente, sendo a estrada 1 com 5,31 km, estrada 2 com 2 km, estrada 3 com 4 km e estrada 4 com 3,5 km de comprimento. As estradas não são pavimentadas e não possuem porteira ou o chamado “mata-burro”, também não possuem curvas muito fechadas, nem aclives e declives acentuados. Devido à predominância de áreas planas conjugada com baixas altitudes e fracos declives, não há presença de voçorocas e grandes erosões, porém, é comum a ocorrência de grandes inundações nas estradas de acesso ao assentamento, como mostram as Figuras 28 e 29.

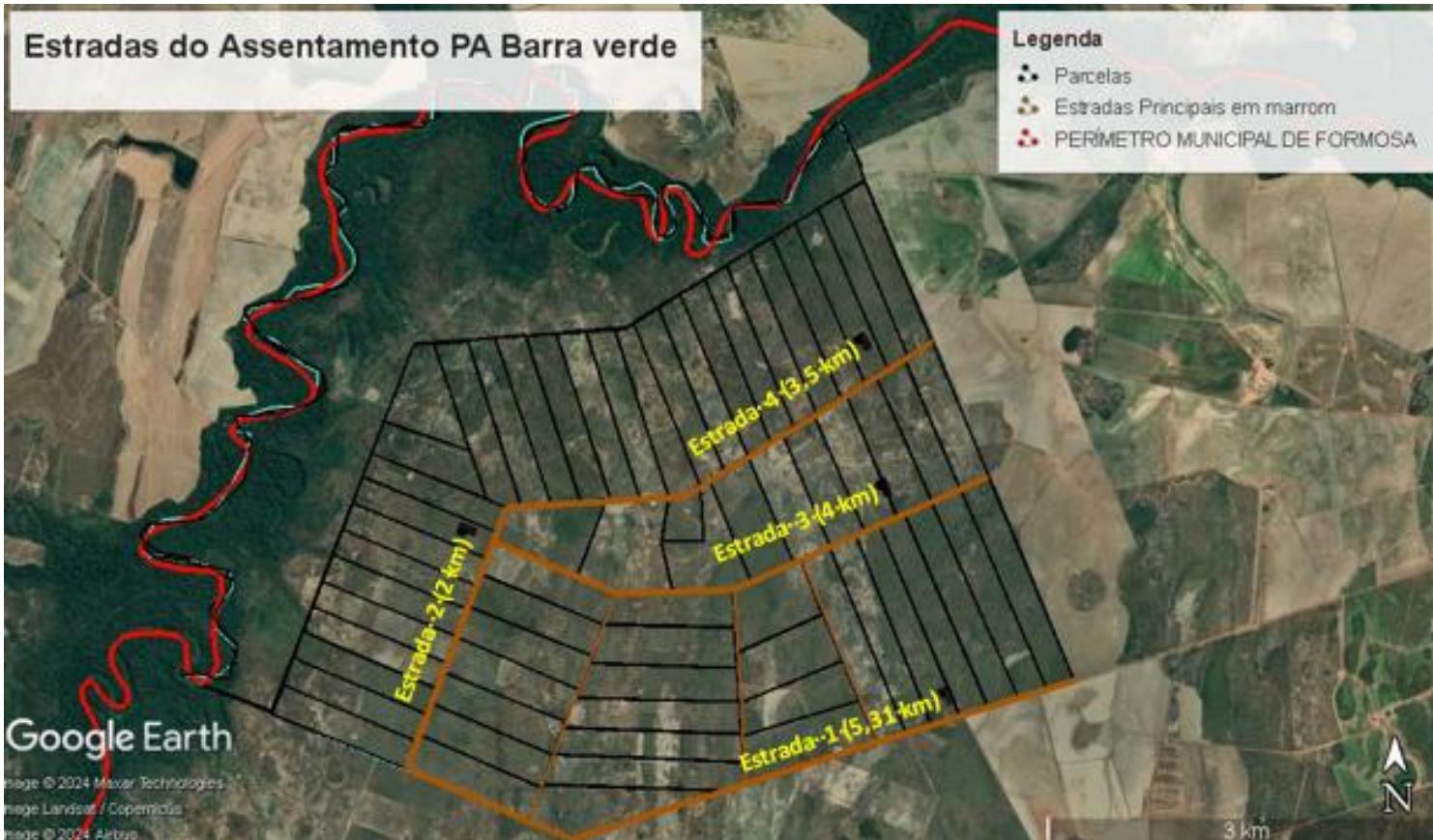
Figura 28: Imagens das estradas do assentamento rural PA Barra Verde em períodos chuvosos



Fonte: Autora (2022)



Figura 29: Estradas Assentamento Barra Verde



Fonte: Google Earth (2024)



- **Relevo e Declividade**

Localizado na região dos Planaltos Areníticos-Basálticos Interiores, a área do Assentamento Rural PA.Barra Verde apresenta superfícies planas e baixas, resultantes da atuação dos processos erosivos que iniciaram nas bordas das bacias sedimentares e que se prolongaram acompanhando as artérias fluviais presentes na região que se unem com os vãos intermontanos e interplanálticos. É caracterizada por relevos com vertentes de fracos declives, drenagem pouco aprofundada e interflúvios amplos (SGB, 2000).

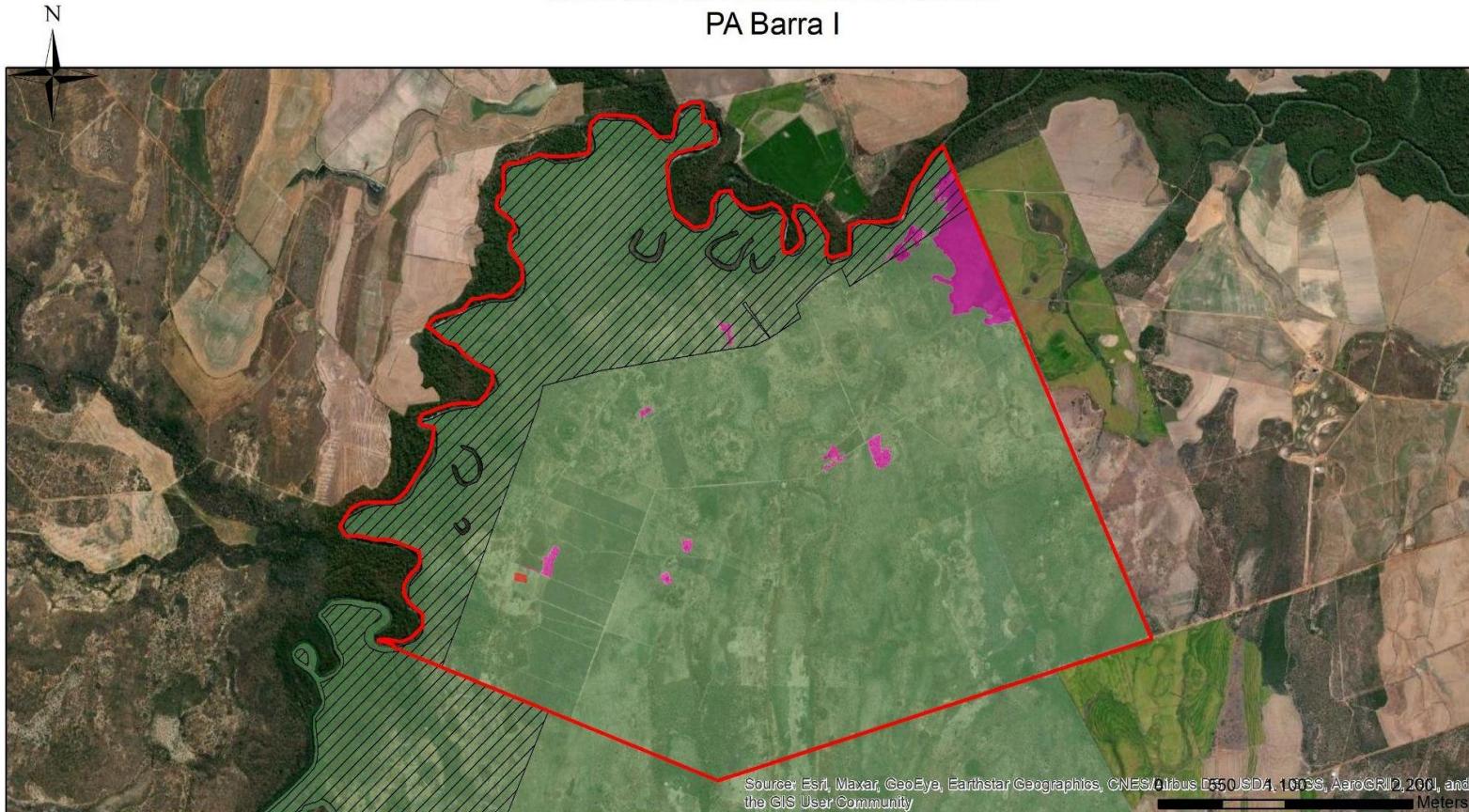
- **Vegetação**

O assentamento possui como maior uso do solo vegetação nativa. Poucas áreas são consideradas como áreas consolidadas. De acordo com o declarado no Cadastro Ambiental Rural, Figura 30, o assentamento possui uma área de 2.330,24 ha de vegetação nativa, 0,60 ha de área consolidada e 56,44 ha de área não classificada.



Figura 30: Cadastro Ambiental Rural

**CADASTRO AMBIENTAL RURAL  
PA Barra I**



**Legenda**

	PA Barra I
	Área Consolidada
	Reserva Legal
	Área não Classificada
	Remanescente de Vegetação Nativa

Projeção Universal Transversal de Mercator  
SIRGAS 2000

Fonte: Dados declarados no Cadastro  
Ambiental Rural - CAR

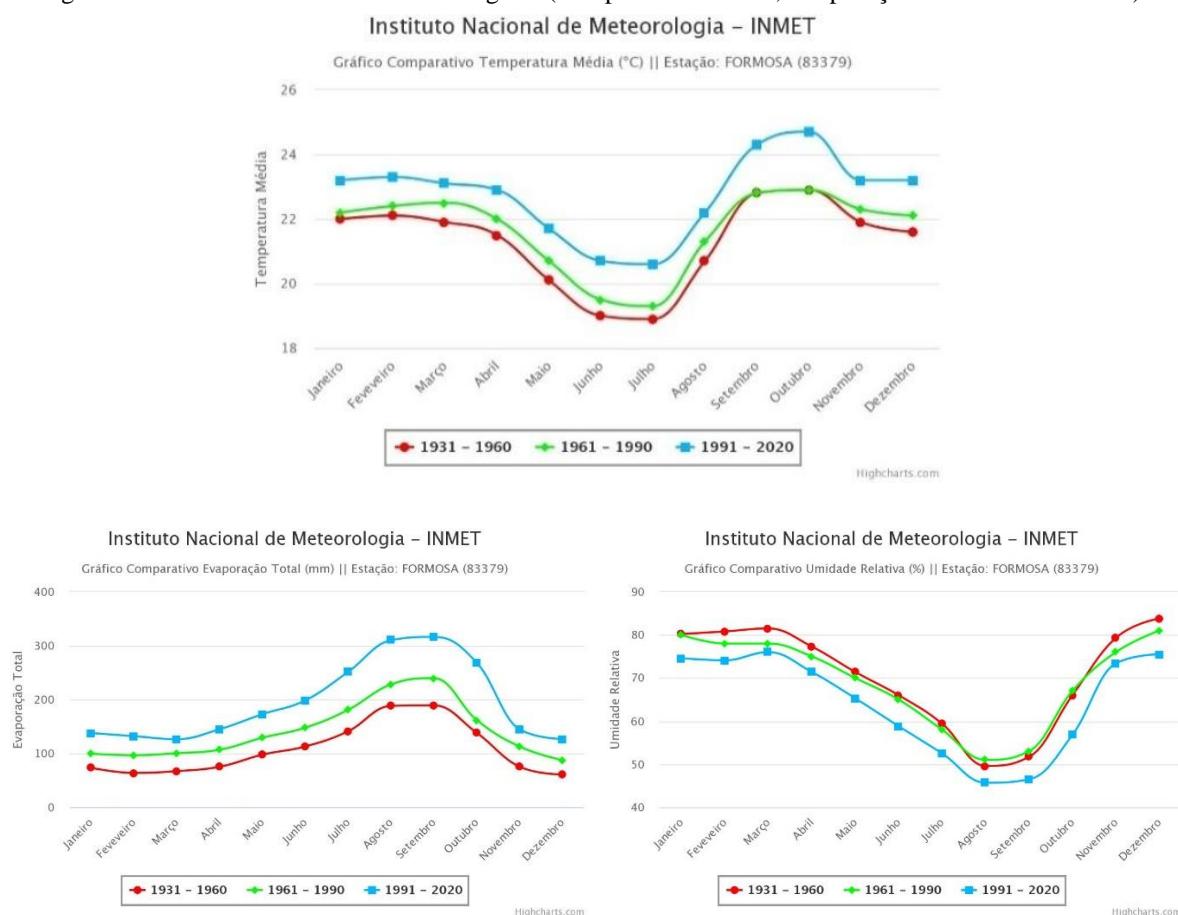
Fonte: Sistema Estadual de Geoinformação (2022)



- **Clima**

A classificação do clima em Formosa-GO é tropical, com inverno seco, com temperatura média anual de 23,3 °C. No que se refere aos dados de temperaturas, umidade e evaporação, o INMET (2023) disponibiliza em seu site as Normais Climatológicas, que são valores médios de dados climatológicos calculados por um período representativo. Os valores da Normal Climatológica de Formosa-GO referem-se a dados datados de 1931 a 2020 e o comportamento de alguns parâmetros climáticos podem ser observados na Figura 31

Figura 31-Gráfico das Normais Climatológicas (Temperaturas média, Evaporação e Umidade Relativa).



Fonte: INMET (2023)

- **Vetorização da área dos telhados (DRONE)**

A vetorização das áreas de telhados se deu por meio de levantamento de dados georreferenciados, e pelas imagens obtidas por meio de voo com Drone modelo MAVIC 2 PRO, tendo sido processados no ambiente dos programas Agisoft Metashape, Google Earth Pro e Quantun Gis (QGIS). A vetorização, nesse contexto, foi o processo de desenhar contornos



poligonais ao redor de cada telhado diretamente na imagem, para identificar a área ocupada por cada telhado.

A maior parte das residências do assentamento rural PA Barra Verde está localizada próxima às estradas internas que dão acesso às parcelas. Tendo em vista o objetivo de captar imagens dos telhados residenciais e do uso do solo nas redondezas das residências, optou-se por realizar o voo com Drone de forma estratégica, focando apenas nas áreas com edificações. O plano de voo foi feito utilizando o google Earth para delimitação da área em que o Drone iria percorrer, por meio da ferramenta “adicionar polígono”, posteriormente as imagens captadas pelo drone foram processadas no programa Agisoft Metashape gerando uma ortofoto única, a partir da identificação visual das áreas de telhado presentes atualmente no assentamento foi feita a vetorização das superfícies de contribuição correspondente às áreas dos telhados no programa QGIS.

### 3.3 Entrevista com os moradores do Assentamento Rural Barra Verde-Formosa-GO

Para obtenção de dados da comunidade como quantidade de habitantes, produção agropecuária e estimativas sobre o volume de demanda necessário para suprir as atividades da comunidade, foram utilizados como base os resultados de uma entrevista aplicada aos moradores da comunidade. Os detalhes das perguntas realizadas estão descritos de maneira abrangente no apêndice A. Foram utilizadas como amostragem 42 famílias, de uma população de 64 famílias. O objetivo foi identificar o número de moradores por parcela, as principais atividades de subsistência, demandas hídricas, e a fonte de água disponível em cada parcela. Para o cálculo de erro amostral em relação ao tamanho da amostra da entrevista com os assentados foram utilizadas as Equações 1 e 2 (BARBETTA, 2008).

$$n_0 = \frac{1}{E_0^2} \quad (1)$$

$$n = \frac{N \cdot n_0}{N + n_0} \quad (2)$$

Onde:

$N$  = Tamanho (número de elementos) da população;

$n$  = Tamanho (número de elementos) da amostra;

$n_0$  = Uma primeira aproximação para o tamanho da amostra e

$E^2$  = Erro amostral tolerável.



### **3.4 Análise das tecnologias de manejo de águas pluviais adequadas à área de estudo**

Após a caracterização ambiental da área de estudo, e entrevista com os moradores locais identificou-se que os maiores desafios enfrentados pelo assentamento rural (PA) Barra Verde são os alagamentos em períodos de chuva nas estradas vicinais e a indisponibilidade de água potável para consumo humano. Sendo assim, para análise do potencial de abastecimento de água potável pelo aproveitamento de água de chuva para fins potáveis foi utilizado o programa computacional Netuno 4.0, e para a identificação das tecnologias de manejo de águas pluviais mais adequadas na mitigação dos impactos causados pelo escoamento superficial, foi feito o ensaio de percolação na área de estudo a fim de identificar o coeficiente de infiltração do solo. Com os resultados do ensaio de percolação, foi possível dimensionar adequadamente estruturas de infiltração, como trincheiras de infiltração, poço de infiltração, valetas, reservatório de retenção e barraginhas.

#### **3.4.1 Análise do potencial de aproveitamento de água de chuva**

- Demandas Hídricas**

Para estimar o consumo de água necessário para atender as demandas da comunidade foi utilizado como base para o cálculo da demanda a Resolução nº 18, de 19 de outubro de 2020, da Agência Reguladora de águas, Energia e Saneamento do Distrito Federal (ADASA, 2020), a Tabela 1 mostra essa estimativa de consumo para assentamentos e área rural. A Resolução nº 18, de 19 de outubro de 2020 considera abastecimento humano como a água destinada à ingestão, higiene, limpeza e demais demandas humanas básicas. Apesar do município de Formosa estar localizado no Estado de Goiás foi utilizada uma Resolução do DF devido à proximidade com a área de estudo.

**Tabela 1 – Demanda para abastecimento humano em áreas não atendidas pela concessionária**

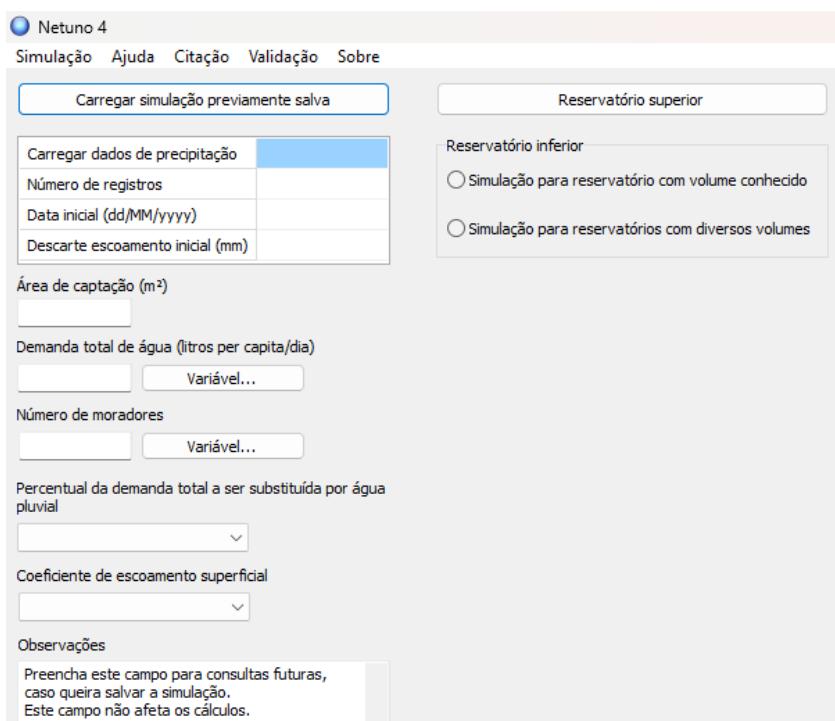
Consumo Humano – litros/dia
Assentamentos e Área rural
<b>Média – 110 litros/dia</b>

Fonte: Resolução nº18/2020 – ADASA

Para estimar o volume do reservatório ideal para atender as demandas de cada parcela da comunidade foi utilizado o programa computacional Netuno 4.0, que realiza simulações no que diz respeito às potencialidades do aproveitamento da água da chuva, utilizando dados pluviométricos, demanda diária de água por habitante, área de captação (telhado), número de moradores e coeficiente de escoamento superficial, conforme Figura 32. Para identificação do

volume necessário do reservatório para atendimento da demanda, o programa computacional Netuno permite a entrada deste dado de duas formas distintas: Reservatório com volume definido pelo usuário, através da opção “Simulação para reservatório com volume conhecido”; onde foi feita a simulação com o volume de 16.000 L, sendo um reservatório com capacidade comum utilizado em áreas rurais, e feita a simulação com reservatório não definido ou definido pelo Netuno, através da opção “Simulação para reservatórios com diversos volumes” (GHISI e CORDOVA, 2014).

Figura 32- Interface para simulação do potencial de utilização de água pluvial e identificação do volume necessário para atendimento das demandas hídricas.



Fonte: Ghisi e Cordova (2014)

#### • Dados Pluviométricos

Considerando a localização distante do assentamento em estudo da zona urbana de Formosa-GO, para o presente estudo foram utilizados os dados de série histórica da estação pluviométrica do município de São João D’Aliança-GO (estação código 1447002, localizada a 38 km de distância da área de estudo, disponibilizados pela plataforma Hidro Web da Agência Nacional de Águas (ANA, 2022), conforme apresentado na Tabela 2 e Figura 33, com estações chuvosas entre outubro a maio. A escolha da estação deveu-se a menor distância da área de estudo num raio de 100 km. A análise dos dados de chuva considerou o período compreendido entre 2000 a 2020 com duração de 20 anos, tendo em vista que era o período que continha o maior número de

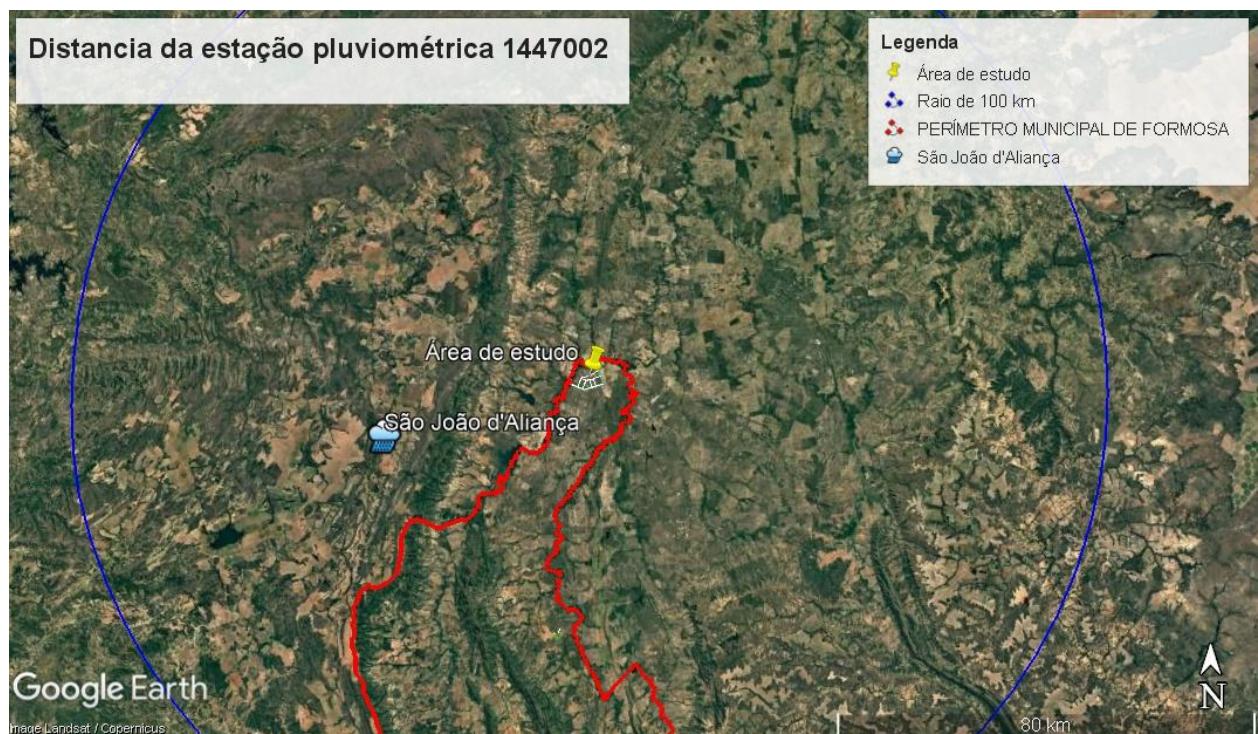
dados referentes aos valores das precipitações médias, além de ser a única estação num raio de 100km com dados mais atualizados de chuva.

**Tabela 2 – Estação pluviométricas São João D’Aliança**

Código	Cidade	Distância da Área de estudo	Operadora	Período	Duração
1447002	São João D’ Aliança	38 km	CPRM	2000-2020	20 anos

Fonte: ANA (2023)

Figura 33: Distância da estação pluviométrica à área de estudo



Fonte: Google Earth (2023)

### 3.4.2 Análise da Qualidade de Água da chuva (telhado) e do Poço Tubular Profundo

A análise da qualidade de água da chuva e do Poço tubular profundo foi realizada por meio da coleta de uma amostra da água bruta direto da calha do telhado e uma amostra da água bruta do Poço tubular profundo de um morador, no período chuvoso em fevereiro de 2024. Para segurança da coleta foram utilizados materiais retirados do laboratório responsável pela análise como recipientes limpos constituídos de polietileno ou poliuretano, identificação dos frascos, luvas, caixa de isopor e gelo para preservar as amostras até o deslocamento ao laboratório. Os Parâmetros listados na Tabela 3 foram analisados conforme a Portaria GM/MS N°888/2021 que



dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade (BRASIL, 2021).

**Tabela 3 – Variáveis analisadas para análise de potabilidade da água**

<b>Variáveis</b>
Bactérias Heterotróficas
Coliformes Totais
Escherichia coli
Cloreto
Cloro Residual Livre
Cor Verdadeira
Nitrogênio Ammoniacal
Nitrogênio de Nitratos
Sólidos Dissolvidos Totais
Dureza Total
Sulfato
Turbidez
Alumínio
Ferro
Manganês Total
Sódio
Zinco
pH à 25º C

Fonte: Laboratório Hidrosolo Ambiental Ltda-ME (2024)

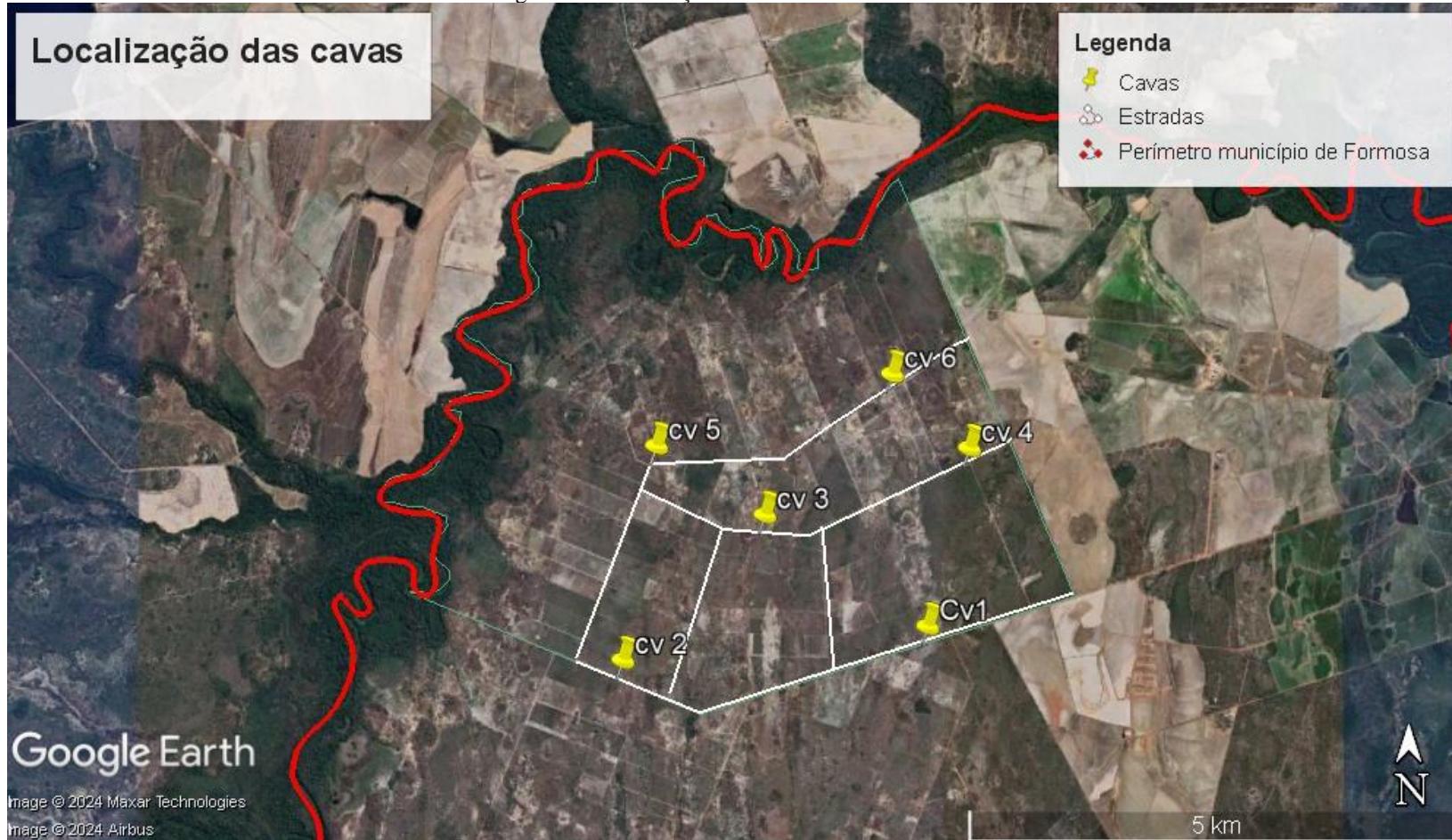
### 3.4.3 Dimensionamento das Tecnologias de drenagem de águas pluviais

- **Ensaio de Percolação**

Realizou-se o ensaio de percolação do solo em conformidade com a norma NBR 13969/97 (ABNT, 1997), para determinar o coeficiente de infiltração (L/m<sup>2</sup>.dia). Adotou-se cava circular com diâmetro de 20 cm e profundidade de 1 metro, as áreas laterais e fundo da cova foram raspadas a fim de manterem aspecto áspero, no qual todos os materiais soltos presentes no fundo foram retirados. O fundo das cavas foi coberto com um lastro de brita “1” com altura de 5 cm, funcionando como leito para colmatação das frações finas presentes na decantação do solo. A Figura 34 apresenta a localização das cavas no terreno.



Figura 34: Localização das cavas na área de estudo



Fonte: Google Earth (2024)



- **Procedimento de execução e monitoramento das cavas**

- a) Escavaram-se seis cavas com 1 metro de profundidade, conforme ilustrado na Figura 35;
- b) Adicionou-se brita “1” realizando a cobertura do fundo (5 cm);
- c) Iniciou-se o enchimento das cavas com água até a profundidade de 0,30 m do fundo, mantendo o nível por um período de 4 horas, a fim de constituir uma condição de saturação no solo.
- d) Após a etapa de saturação, cada cava foi preenchida com água até a cota de 15 cm acima do leito de brita, onde observou-se o rebaixamento do nível d’água a cada 30 minutos.
- e) Após cada leitura, colocou-se mais água para retornar ao nível de 15 cm. Foram realizadas seis determinações, gerando as Tabelas 4 a 9 apresentadas no Apêndice A.
- f) Foi calculada a taxa de percolação para cada cava escavada, a partir dos valores apurados, dividindo-se o intervalo de tempo entre determinações pelo rebaixamento lido na última determinação.
- g) O valor médio da taxa de percolação da área foi obtido calculando-se a média aritmética dos valores das cavas;
- h) Foi possível aferir a taxa de aplicação superficial ( $L/m^2 \cdot dia$ ) e o coeficiente de infiltração que varia de acordo com os tipos de solo.
- i) A partir das aferições de rebaixamento do nível d’água nas cavas, foi possível aferir o coeficiente de permeabilidade do solo saturado.

Figura 35- Etapas do procedimento de execução e monitoramento das cavas



Fonte: Autora

A partir do cálculo do coeficiente de permeabilidade do solo para a área de estudo, foi possível realizar o dimensionamento de dispositivos de infiltração, utilizando-se como base o Manual de Drenagem do Distrito Federal (ADASA, 2023). Optou-se pela utilização deste manual pela proximidade da área de estudo com o DF e pela não identificação de um manual de Drenagem do Estado de Goiás. Foram analisados os seguintes dispositivos de infiltração: trincheira de infiltração; poço de infiltração; valeta; reservatório de retenção incluindo as barraginhas que são mais comuns em áreas rurais, analisando-se qual possui maior potencial de aplicabilidade de acordo com critérios específicos da área e viabilidade de instalação.

O dimensionamento hidráulico dos dispositivos foi realizado de forma iterativa, igualando-se o volume do dispositivo em função da geometria e o volume do dispositivo em função das variáveis físicas presentes na área, tais como tempo de duração da chuva, área de contribuição, coeficiente de escoamento superficial, intensidade da chuva crítica, entre outros. Os cálculos foram realizados com o uso do programa computacional Microsoft Excel 2019.

- **Tempo de Duração da chuva**



O tempo de duração da chuva adotado no dimensionamento foi obtido utilizando-se como base o tempo de concentração da área de estudo. Foi aplicada a Equação 3 de Kirpich, que é recomendada para bacias rurais:

$$tc = 0,0663xL^{0,77}x(S)^{-0,385} \quad (3)$$

Onde: tc = Tempo de concentração (horas); L = Comprimento do talvegue (km); S = Declividade (m/m).

- **IDF**

Para o cálculo, foi considerada a equação IDF do Distrito Federal, conforme Equação 4, devido à sua proximidade com a região e maior série histórica, pois no município de Formosa não foi identificada uma IDF consistente que pudesse ser aplicada.

$$I = \frac{4.374,17 \cdot T^{0,207}}{(td + 11)^{0,884}} \quad (4)$$

Onde: T = tempo de retorno (anos); td = duração da chuva (min); I = intensidade da chuva crítica (L/s.ha), correspondente ao tempo de duração td calculada pela equação IDF.

- **Trincheira de Infiltração**

O cálculo das dimensões da trincheira de infiltração foi feito iterativamente, igualando-se a Equação 5. A área de contribuição das estradas possui aproximadamente 17,57ha. Essa área foi subdividida em áreas equivalentes a 0,1ha (1000 m<sup>2</sup>), obtendo-se 176 regiões. Foi realizado o cálculo para a trincheira sem nenhum material de preenchimento, utilizando, portanto, todo o volume do dispositivo, e com material de preenchimento, como exemplo brita 1 ou argila expandida, no qual mantém-se aproximadamente 40% do volume de vazios. Foi adotada uma dimensão fixa de 1 metro de largura (b) e 2 metros de profundidade (H) para a trincheira, pois tal geometria já facilita a execução da escavação da mesma, utilizando-se equipamento como a restroescavadeira com braço hidráulico, alterando-se o comprimento até atingir o volume necessário.

$$b \cdot L \cdot \left( H - \frac{i \cdot L}{2} \right) = 6.000 \cdot \frac{td}{P} \cdot [0,00125 \cdot A \cdot C \cdot (I - Vr) - k \cdot Ainf \cdot Cs] \quad (5)$$



Onde: b, L, H = largura, comprimento e altura (m); i = declividade longitudinal (m/m); td = tempo de duração da chuva (min); P = porosidade do material granular ou índice de vazios (%); A = área de contribuição; C = coeficiente de escoamento superficial (adimensional); Vr = vazão de restrição conforme Resolução 9/2011 da ADASA (L/s.ha); k = coeficiente de permeabilidade do solo saturado (m/s); Ainf = área de infiltração da trincheira (m<sup>2</sup>), considerada igual à área do fundo mais a metade das áreas laterais; Cs = coeficiente de segurança de redução do coeficiente de permeabilidade, adotado igual a 0,5; I = intensidade da chuva crítica (L/s.ha) correspondente ao tempo de duração (td) calculada pela equação IDF.

- **Poço de Infiltração**

Para cada poço foi considerada uma área de contribuição de 100 m<sup>2</sup>, que corresponde a um total de 1.760 poços ao longo das vias. O dimensionamento hidráulico do poço de infiltração é similar ao da trincheira de infiltração, considerando a superfície lateral de contato com o solo igual à superfície de um cilindro (ou de um tronco de cone) e o fundo circular. Foi adotado um diâmetro (D) fixo de 1 metro de largura para o cálculo dos poços. Tal medida foi utilizada pois é comumente adotada para materiais de contenção circulares como manilhas de concreto, alterando-se a profundidade da mesma até atingir o volume necessário. O projeto do poço de infiltração também foi realizado utilizando-se a equação geral de dispositivos de infiltração, de forma iterativa, igualando-se com volume a partir de sua geometria, conforme Equação 6.

$$\left( H \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} \right) = 6.000 \cdot \frac{td}{P} \cdot [0,00125 \cdot A \cdot C \cdot (I - Vr) - k \cdot Ainf \cdot Cs] \quad (6)$$

Onde: H = altura do poço (m); D = diâmetro do poço (m); td = tempo de duração da chuva (min); P = porosidade do material granular ou índice de vazios; A = área de contribuição; C = coeficiente de escoamento superficial (adimensional); I = intensidade da chuva crítica (L/s.ha) correspondente ao tempo de duração td, calculada pela equação IDF do Distrito Federal; Vr = vazão de restrição conforme Resolução 9/2011 da ADASA (L/s.ha); k = coeficiente de permeabilidade do solo saturado (m/s); Ainf = área de infiltração do poço, considerada igual a soma da área do fundo e da área lateral, correspondente a metade da área do mesmo; coeficiente de segurança de redução do coeficiente de permeabilidade, adotado igual a 0,5.

- **Valeta**

As valetas seguem o mesmo procedimento de cálculo das valas, conforme Equação 7, mas possuem grandes comprimentos em relação à sua largura, funcionando como sarjetas presentes no ambiente urbano. Para as valetas adotou-se um comprimento fixo de 30.000 metros, pois as estradas vicinais consideradas no cálculo possuem 15 km de extensão, no entanto ao longo da via têm-se valetas em ambos os lados



$$L \cdot h \cdot (b + z \cdot h) = 6.000 \cdot \frac{td}{P} \cdot [0,00125 \cdot A \cdot C \cdot (I - Vr) - k \cdot Ainf \cdot Cs] \quad (7)$$

Onde: L = comprimento da vala (m); h = altura do nível de água (m); z = inclinação dos taludes, que é função das características geotécnicas do solo (adimensional); b = largura da base da vala (m); td = tempo de duração da chuva (min); P = porosidade do material granular ou índice de vazios, que no caso é igual a 100 %; A = área de contribuição; C = coeficiente de escoamento superficial (adimensional); I = intensidade da chuva crítica (L/s.ha) correspondente ao tempo de duração td, calculada pela equação IDF do Distrito Federal; Vr = vazão de restrição conforme Resolução 9/2011 da ADASA (L/s.ha); k = coeficiente de permeabilidade do solo saturado (m/s); Ainf = área de infiltração da vala (m<sup>2</sup>) que é adotada igual à projeção horizontal da área ocupada pela vala; Cs = coeficiente de segurança de redução do coeficiente de permeabilidade, adotado igual a 0,5 (ADASA, 2019).

### • Reservatório de retenção

Foi considerada uma área de contribuição de 313,5 m<sup>2</sup> para cada reservatório de retenção, correspondendo a um total de 562 dispositivos ao longo das vias. Foi adotada uma profundidade fixa de 2 metros para o cálculo do reservatório. Tal critério foi utilizado considerando a execução e construção da mesma, que é facilitada com menores profundidades a partir de maquinário de escavação, alterando-se consequentemente a largura e comprimento do dispositivo até atingir o volume necessário. Foi calculado o volume em função da geometria igualando-se o volume em função das variáveis físicas, ou seja, feito de forma iterativa conforme a Equação 8:

$$L \cdot h \cdot (b + z \cdot h) = 6.000 \cdot \frac{td}{P} \cdot [0,00125 \cdot A \cdot C \cdot (I - Vr) - k \cdot Ainf \cdot Cs] \quad (8)$$

Onde: L = comprimento da vala (m); h = altura do nível de água (m); z = inclinação dos taludes, que é função das características geotécnicas do solo (adimensional); b = largura da base da vala (m); td = tempo de duração da chuva (min); P = porosidade do material granular ou índice de vazios, que no caso é igual a 100 %; A = área de contribuição; C = coeficiente de escoamento superficial (adimensional); I = intensidade da chuva crítica (L/s.ha) correspondente ao tempo de duração td, calculada pela equação IDF do Distrito Federal; Vr = vazão de restrição conforme Resolução 9/2011 da ADASA (L/s.ha); k = coeficiente de permeabilidade do solo saturado (m/s); Ainf = área de infiltração da vala (m<sup>2</sup>) que é adotada igual à projeção horizontal da área ocupada pela vala; Cs = coeficiente de segurança de redução do coeficiente de permeabilidade, adotado igual a 0,5 (ADASA, 2019).

### • Barraginhas

Apesar das barraginhas serem consideradas como um reservatório de retenção, foi realizado o dimensionamento desse dispositivo por ser uma tecnologia de drenagem de águas pluviais mais comuns em áreas rurais. O cálculo de espaçamento entre barraginhas foi realizado



utilizando a proposta de Bertoni (1959), considerando a declividade do terreno e a resistência do solo à erosão hídrica (erodibilidade), conforme apresentado na Equação 9. A declividade do terreno é de 0,0014 m/m, o que corresponde a 0,14%. O índice de resistência a erosão do solo foi definido de acordo com o Quadro 4 proposto por Lombardi Neto *et al.* (1989), no Apêndice A. Na área de estudo o solo predominante é o plintossolo, enquadrando-se no grupo D, possuindo fator de resistência do solo a erosão  $K = 0.75$ . De acordo com estudo de Sartori (2004), o solo da área de estudo se classifica como grupo D possuindo as seguintes características, conforme Quadro 5, no Apêndice A.

$$EH = 0,4518 * K * D^{-0,42} \quad (9)$$

Onde:  $EH$  = espaçamento entre barraginhas, em m;  $K$  = fator de resistência do solo a erosão, adimensional;  $D$  = declividade, em %.

A área de contribuição é obtida a partir da Equação 10:

$$Ac = EH \cdot L \quad (10)$$

Onde:  $Ac$  = área de contribuição de cada barraginha ( $m^2$ );  $EH$  = espaçamento entre barraginhas (77,38 m);  $L$  = largura da estrada (4 m).

O volume armazenado pela bacia é obtido pela Equação 11, no qual é obtido aplicando-se a Equação 12, IDF do Distrito Federal:

$$VB = \frac{Ac \cdot ES}{1000} \quad (11)$$

Onde:  $VB$  = Volume armazenado pela bacia;  $Ac$  = Área de contribuição;  $ES$  = É a lâmina de escoamento superficial (mm) para uma chuva de duração de 24 horas;

$$I = \frac{1.574,7 \cdot T^{0,207}}{(td+11)^{0,884}} \quad (12)$$

Onde:  $T$  = tempo de retorno (10 anos);  $td$  = duração da chuva (24h = 1440 min);  $I$  = intensidade da chuva (mm/h).

A partir do volume de água a ser armazenado pela bacia já estabelecido, é possível dimensioná-la para determinar a profundidade ou o raio a ser utilizado na estrutura, conforme



Equação 11. O cálculo é realizado de forma iterativa, no qual uma das dimensões é fixada e a outra alterada, até que se alcance o volume necessário para o armazenamento. Para o cálculo, foi fixada uma profundidade de 2 metros, no qual foi constatado o Raio = 3,2 m para que o volume seja atendido.

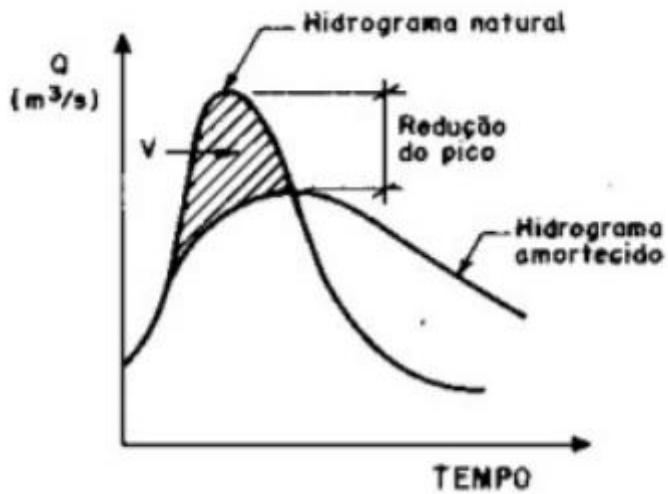
$$VB = \frac{\pi \cdot h^2 \cdot (3R - h)}{3} \quad (11)$$

Onde: h: profundidade máxima de água a ser acumulada (m); R: raio da bacia (m)

### 3.4.4 Estimativa da redução da vazão de água pluvial na drenagem da área de estudo-Hidrograma

Para estimar a redução da vazão de água pluvial na área de estudo, foram realizados dois tipos de hidrogramas pelo método SCS (*Soil Conservation Service*): o Hidrograma Natural ou de entrada; e o Hidrograma Amortecido ou de saída (COLLISCHONN e DORNELLES, 2013). Na primeira etapa, o Hidrograma Natural foi elaborado utilizando as características hidrológicas da área de estudo, incorporando parâmetros como tipo de solo, uso da terra e cobertura vegetal. Essa análise permitiu identificar a vazão máxima de escoamento superficial nas estradas durante eventos pluviais. Na segunda etapa, o Hidrograma amortecido foi desenvolvido após a simulação de implementação das tecnologias de manejo de águas pluviais. Essas tecnologias, projetadas para reduzir o volume do hidrograma de entrada durante períodos de enchentes, têm como propósito reduzir o pico de vazão e minimizar os impactos a jusante, conforme ilustrado na Figura 36.

Figura 36: Comportamento do Hidrograma em diferentes situações



Fonte: Tucci (2005, p.58)

- **Distribuição temporal da chuva pelo método de Huff**

Para a construção dos Hidrogramas inicialmente obteve-se os dados de entrada como a Área de Contribuição das estradas (17,6 ha ), Talvegue (8,3 km), sendo a diferença de cotas de 12m, Declividade de 0,0014m/m, Tempo de Retorno de 10 anos, Tempo de Concentração de 260min (Equação 12), Intensidade da Chuva em 17,92 mm/h (Equação 13), e Precipitação Total sendo 77,61mm (Equação 14).

$$TC = 57x\left(\frac{L^3}{\Delta H}\right)^{0,385} \quad (12)$$

Onde:  $TC$ = Tempo de Concentração,  $L$ =Comprimento Talvegue,  $\Delta H$ =Desnível do talvegue

$$i_{max} = \frac{2.808,67xTR^{0,104}}{(tc + 33)^{0,930}} \quad (13)$$

Onde:  $i_{max}$ =Intensidade da chuva,  $TR$ = tempo de retorno,  $tc$ = tempo de concentração

$$P = i \times td \quad (14)$$

Onde:  $P$ =Precipitação total,  $i$ = Intensidade da chuva,  $td$ =duração da chuva

Foi realizada a distribuição temporal da chuva pelo método de Huff (1967). O método utiliza dados históricos de precipitação e calcula percentuais acumulados da chuva ao longo do tempo do evento. Esses percentuais são então usados para construir curvas de distribuição de



intensidade, que mostram como a chuva se acumula ao longo da duração do evento. Cada evento de chuva é dividido em quatro quartis, o método então identifica qual quartil concentra a maior intensidade de chuva. Com base nisso, foram determinadas a precipitação acumulada e a variação da chuva no passo de tempo a conforme Quadro 6 no Apêndice A.

- **Hidrograma Unitário-Método SCS**

Previamente à construção do Hidrograma de Projeto foi feito o Hidrograma Unitário que representa o hidrograma de escoamento superficial resultante de uma chuva com duração e intensidade constantes (geralmente 1 mm ou 1 cm de chuva) e que ocorre de forma distribuída sobre toda a área da bacia hidrográfica (COLLISCHONN e DORNELLES, 2013). Para a construção do Hidrograma Unitário, conforme Figura 37, foram utilizados os dados de Tempo de Resposta de 2,60 h (Equação 15), Tempo de Pico de 2,89 h (Equação 16), Tempo de Base de 7,71 h (Equação 17) e Vazão de Pico de 0,13 m<sup>3</sup>/s.cm, (Equação 18).

$$T_L = 0,6 \times T_c \quad (15)$$

Onde:  $T_L$  = Tempo de Resposta,  $T_c$  = Tempo de Concentração

$$T_p = 0,5 \times T_r + T_L \quad (16)$$

Onde:  $T_p$  = Tempo de Pico,  $T_r$  = tempo de discretização da chuva (h) =  $tr = 0.13 \times td$ ,  $T_L$  = Tempo de Resposta

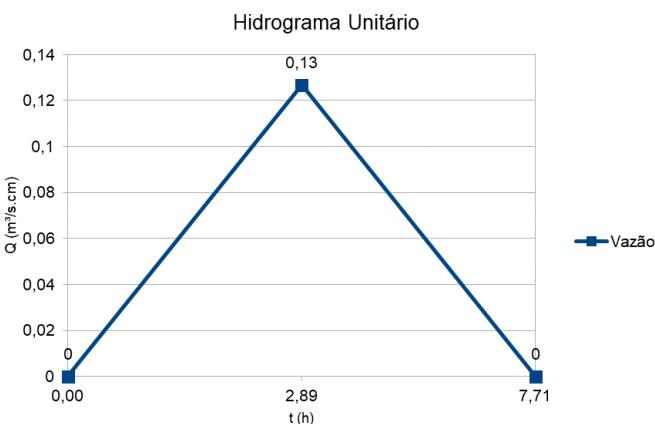
$$T_b = 2,67 \times T_p \quad (17)$$

Onde:  $T_b$  = tempo de base,  $T_p$  = Tempo de Pico

$$Q_{u,p} = \frac{2,08 \times A_d}{T_p} \quad (18)$$

Onde:  $Q_{u,p}$  = Vazão de pico,  $A_d$  = Área de Contribuição,  $Tp$  = Tempo de Pico

Figura 37- Hidrograma unitário



Fonte: Do Autor

- **Hietograma de Projeto- Método SCS**

O Hietograma de Projeto descreve como a precipitação varia ao longo do tempo durante um evento de chuva e é uma entrada essencial para gerar o Hidrograma de Projeto (COLLISCHONN e DORNELLES, 2013). Para a criação do Hietograma de Projeto inicialmente foi feita a determinação de algumas variáveis como o CN (*Curver Number*), que é um índice numérico que reflete a capacidade do solo e da cobertura do terreno em absorver a chuva antes de iniciar o escoamento superficial, o valor do CN varia de 0 a 100, conforme Quadro 7, no Apêndice A. Foram determinadas a Infiltração potencial máxima (S) de 28,22mm (Equação 19) e Infiltração Inicial ( $I_a$ ), (Equação 20). Para a criação do Hietograma de projeto sem os dispositivos foi utilizado o CN com valor igual a 90, foram calculadas a Precipitação Acumulada e a Precipitação Excedente Acumulada. Os valores estão descritos no Quadro 8, no apêndice A e ilustrados no Figura 38 onde é mostrada a separação da chuva que contribui para o escoamento. Utilizou-se a Equação 21 para determinação da Precipitação Efetiva quando a precipitação acumulada se deu maior que a infiltração inicial ( $I_a$ ). O Hietograma excedente foi obtido através da subtração da Precipitação efetiva em um determinado tempo pela Precipitação efetiva do tempo anterior.

$$S_{(mm)} = 25,24 \times \left( \frac{1000}{CN} \right) - 10 \quad (19)$$

Onde:  $S_{(mm)}$  = Infiltração Potencial Máxima, CN =90

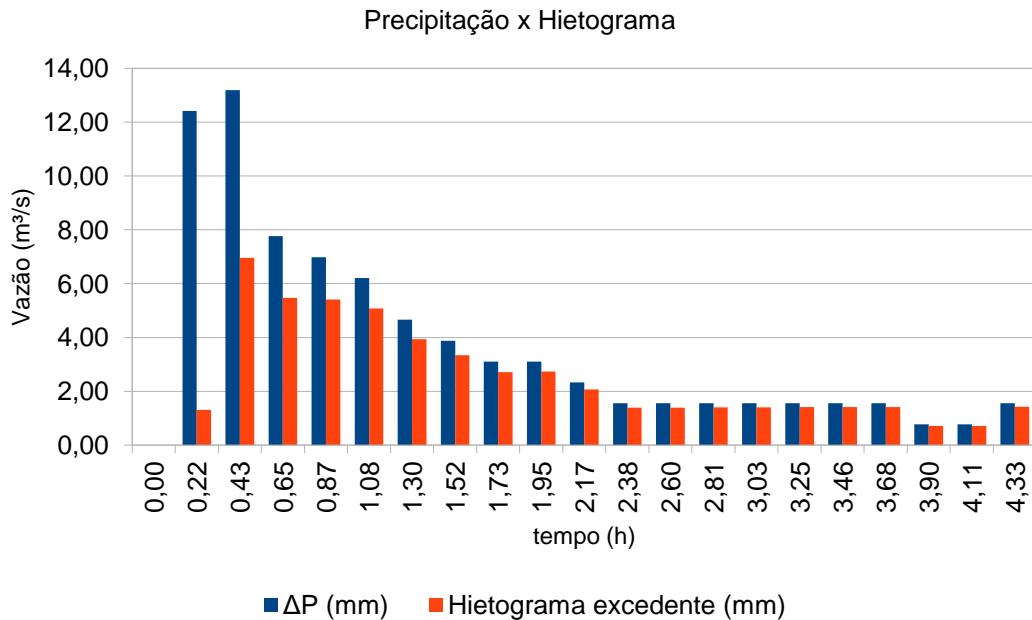
$$I_a = 0,2 \times S \quad (20)$$

Onde:  $I_a$  = Infiltração Inicial, S = Infiltração Potencial Máxima

$$P_e = \frac{(P - 0,2xS)^2}{(P + 0,8xS)} \quad (21)$$

Onde:  $P_e$  = Precipitação Efetiva,  $P$  = Precipitação acumulada,  $S$  = Infiltração Potencial Máxima

Figura 38 -Hietograma de Projeto



Fonte: Autora

- **Hidrograma de Projeto- Método SCS**

O Hidrograma de Projeto sem os dispositivos de infiltração foi construído a partir da determinação do Hietograma de Projeto contendo os dados da precipitação efetiva de cada bloco de chuva, totalizando 20 blocos de chuva, conforme Quadro 8, no apêndice A. Dessa forma, os blocos de chuva contribuem para o escoamento. Cada bloco possui um hidrograma triangular com tempo de pico ( $tp'$ ), tempo de base ( $tb'$ ) e vazão de pico ( $Qp'$ ), ambos calculados utilizando as Equações 22, 23 e 24. Posteriormente foi feita a superposição dos hidrogramas triangulares de cada bloco de chuva pra a criação do hidrograma curvilíneo. Cada hidrograma parcial foi deslocado no tempo, de forma que o início de cada hidrograma coincidisse com o intervalo de tempo do bloco de chuva correspondente. Em seguida, as vazões dos hidrogramas parciais foram somadas ponto a ponto em cada instante de tempo, conforme Quadro 9, gerando o Hidrograma de Projeto.

$$Tp' = T + Tp \quad (22)$$



Onde:  $Tp'$  = Tempo de Pico do bloco de chuva, T = “passo de tempo”,  $Tp$  = Tempo de Pico calculado no hidrograma unitário

$$Tb' = T + Tb \quad (23)$$

Onde:  $Tb'$  = Tempo de base do bloco de chuva, T = “passo de tempo”,  $Tb$  = Tempo de Base calculado no hidrograma unitário

$$Qp' = Qp \times \frac{Hiet. Exc}{10} \quad (24)$$

Onde:  $Qp'$  = Vazão de Pico do bloco de chuva

- **Hidrograma de Amortecimento**

Para a geração do hidrograma de amortecimento com a aplicação dos dispositivos, foram seguidos os mesmos passos e equações utilizados na criação do Hidrograma de Projeto, porém utilizou-se o valor do CN é igual a 60, considerando que os dispositivos geram menor escoamento e maior infiltração.



## 4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

### 4.1 ENTREVISTA COM OS MORADORES DA ÁREA DE ESTUDO

#### 4.1.1 Erro Amostral

Considerando a amostragem de 42 famílias entrevistadas, de uma população de 64 famílias, identificou-se como erro amostral o valor de 0,90 ou 9% por meio da equação de Barbetta (2008), conforme resultado do cálculo apresentado nas Equações 12 e 13. Considerando que o número de famílias entrevistadas foi maior que 60% da população total da área de estudo, pode-se inferir que o resultado da entrevista se aproxima da realidade dos familiares e que os dados coletados refletem a relação dos familiares frente aos recursos hídricos disponíveis.

$$n = \frac{N \cdot n_0}{N + n_0} \longrightarrow 42 = \frac{64 \cdot n_0}{64 + n_0} \longrightarrow 42 \times (64 + n_0) = 64n_0$$

$$64n_0 = 2.688 + 42n_0$$

$$64n_0 - 42n_0 = 2.688 \quad (12)$$

$$22n_0 = 2.688$$

$$n_0 = 122,18$$

$$n_0 = \frac{1}{E_0^2} \longrightarrow 122,18 = \frac{1}{E_0^2} \longrightarrow E_0^2 = \frac{1}{122,18}$$

$$E = 0,09 \text{ ou } 9\% \quad (13)$$

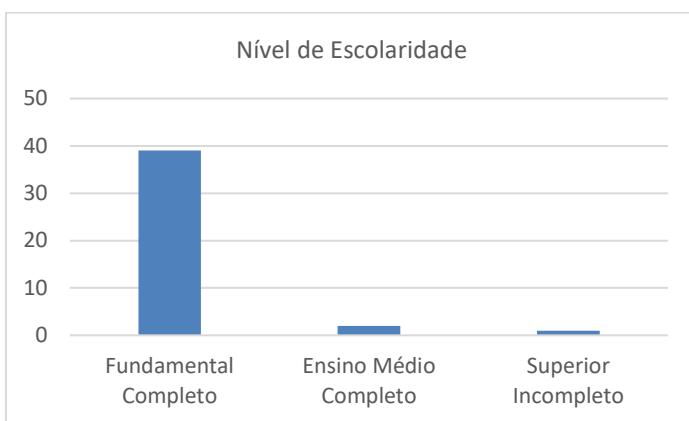
#### 4.1.2 Resultado da entrevista

Os moradores mais antigos do assentamento rural PA Barra Verde relataram que residem na área desde 2009. O morador mais recente estabeleceu-se em 2017, mas a maioria das famílias entrevistadas adquiriram suas parcelas em 2014. Todos as famílias entrevistadas confirmaram que não possuem outra residência ou propriedade além da parcela no assentamento. Em média, cada residência abriga dois moradores, com famílias mais numerosas chegando a no máximo quatro integrantes. Sendo assim, estima-se que a população total do assentamento PA Barra verde seja em torno de 128 habitantes.

Considerando que o assentamento PA Barra Verde não possui escola, as crianças residentes da área rural utilizam um ônibus escolar para se deslocarem até a escola mais próxima a 15 km, localizada no assentamento rural PA Morrinhos, que oferece educação até o ensino

fundamental. Apenas duas famílias entrevistadas possuem pelo menos um integrante com nível de escolaridade de ensino médio completo, uma família possui um integrante com ensino superior incompleto e o restante das famílias entrevistadas possuem ensino fundamental completo, conforme Figura 39. Das 42 famílias entrevistadas, 24% informaram que a renda mensal é até 2 (dois) salários mínimos, sendo a renda constituída pela aposentadoria de algum integrante da residência, e/ou pelo programa governamental Auxílio Brasil, além da renda advinda de produtos da agricultura familiar. O restante das famílias possui como renda apenas o Auxílio Brasil.

Figura 39- Nível de escolaridade das famílias entrevistadas



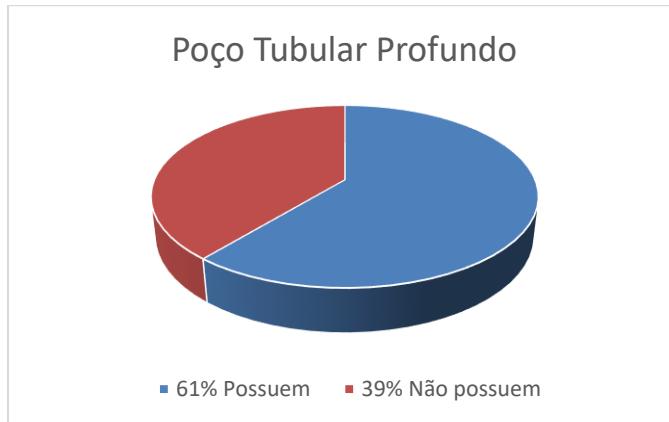
Fonte: Autora

As atividades de subsistência identificadas foram: pecuária, avicultura, suinocultura, plantio de hortaliças, leguminosas, frutíferas e pequenas lavouras de mandioca, milho e feijão. Dada a pequena disponibilidade de água para irrigação, a maioria destes cultivos é plantada na época das chuvas (novembro-maio). Segundo os moradores a produção dos alimentos tem como objetivo o consumo próprio, mas também é fonte de renda, pois algumas famílias são conveniadas à Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB) que incentiva a agricultura familiar. As principais demandas hídricas constatadas nas entrevistas foram: o consumo humano, o consumo doméstico, a dessedentação de animais e a irrigação de pequenas áreas de plantio como hortaliças, leguminosas e frutíferas.

Em relação às fontes de água disponíveis, os resultados obtidos mostraram que 61% das 42 famílias entrevistadas possuem poço tubular profundo, conforme Figura 40 , sendo essa água voltada para o uso doméstico (ingestão, descarga, chuveiro, lavagem de roupas e limpeza da casa), dessedentação de animais e irrigação. As características da água do poço foram retratadas pelos moradores com gosto “muito calcária” ou “salobra”. A outra parcela, de 44% das famílias entrevistadas, não possui poço tubular profundo, sendo necessário bombear a água

do poço do morador vizinho e em épocas de seca alguns moradores relataram que buscam água no Rio Paraná, localizado às margens do assentamento. Não foram identificadas outras fontes de água como acesso ao sistema de abastecimento público, cisternas, carro pipa ou açude. Aproximadamente 86% das famílias entrevistadas informaram que, para o consumo humano, compram água mineral no município vizinho, Flores de Goiás-GO.

Figura 40: Proporção dos moradores que possuem Poço Tubular Profundo



Fonte: Autora

Das 64 parcelas, 19% possuem pequenas barragens para captação de água pluvial, e 5 famílias fazem a captação de água de chuva de uma forma mais precária, em pequenos reservatórios como bombonas plásticas, utilizando como forma de tratamento um filtro de pano para sólidos grosseiros, conforme Figura 41. Os entrevistados destacaram as seguintes dificuldades referente às águas pluviais: a falta de incentivo público e financiamento para projetos de captação de água da chuva, e os alagamentos nas estradas em períodos de chuva que prejudicam a mobilidade e o acesso.

Figura 41- Captação de água de chuva de uma forma mais precária



Fonte: Autora



## 4.2 ANÁLISE DO POTENCIAL DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA POTÁVEL PELO APROVEITAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA

### 4.2.1 Vetorização das áreas dos telhados por meio de DRONE

O levantamento aéreo feito com Drone permitiu a geração de um ortomosaico único por meio do programa computacional Agisoft Metashape. Ao ampliar o ortomosaico, como mostra a Figura 42, obtém-se o detalhamento da caracterização física das parcelas e dos telhados, sendo possível identificar o material do telhado e realizar a medição da área de contribuição, a presença de moradias, galpões, quintal/pomar, área de pastagem e a existência de vegetação nativa na área de cada parcela. Na Figura 43 é possível observar o resultado a ortomosaico.

Figura 42- Ampliação da ortomosaico para identificação do uso do solo.



Fonte: Autora (2023)



Figura 43: Ortomosaico criado pelas imagens captadas por meio de drone

Fonte: Autora (2023)



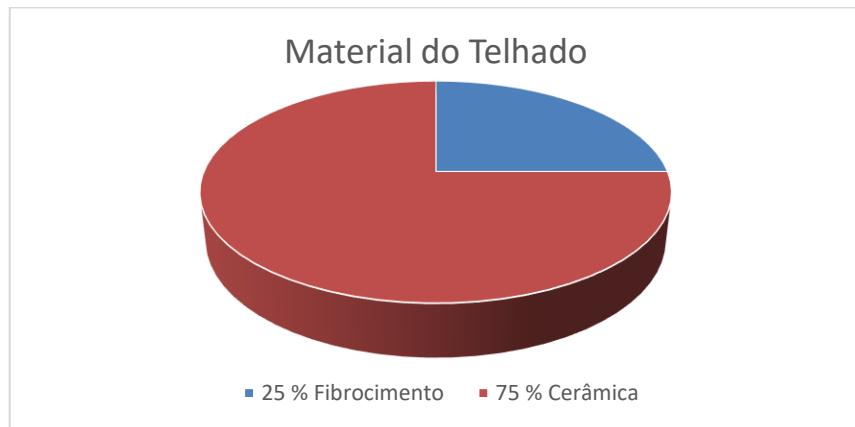
A vetorização das 64 edificações no programa computacional QGIS mostrou que a área total de telhados é de 6.540,79 m<sup>2</sup>, sendo a área média por edificação de 102,20 m<sup>2</sup>, conforme Quadro 10. Quanto à composição dos telhados, a ortofoto gerada a partir das imagens obtidas pelo Drone, permitiu identificar que 25 % das edificações da área de estudo possuem telhado de fibrocimento e 75% possuem telhado de cerâmica, conforme Figura 44 .

Quadro 10 – Descrição das áreas e material dos telhados

PARCELA	Área telhado (m <sup>2</sup> )	Material do telhado	PARCELA	Área telhado (m <sup>2</sup> )	Material do telhado
1	128,25	Amianto	33	77,20	Cerâmica
2	158,29	Cerâmica	34	91,60	Cerâmica
3	85,87	Cerâmica	35	74,00	Cerâmica
4	227,41	Amianto	36	77,79	Cerâmica
5	191,18	Cerâmica/Amianto	37	73,54	Cerâmica
6	132,88	Cerâmica	38	154,51	Cerâmica/Amianto
7	95,84	Cerâmica	39	122,52	Cerâmica/Amianto
8	103,73	Cerâmica	40	72,46	Amianto
9	80,85	Cerâmica	41	106,55	Cerâmica
10	80,47	Cerâmica	42	41,87	Amianto
11	74,79	Cerâmica	43	127,70	Amianto
12	101,45	Cerâmica	44	36,21	Amianto
13	156,53	Cerâmica	45	89,77	Amianto
14	54,23	Cerâmica	46	71,12	Amianto
15	149,25	Cerâmica	47	94,65	Cerâmica
16	149,87	Cerâmica/Amianto	48	70,94	Cerâmica
17	89,09	Cerâmica/Amianto	49	56,80	Amianto
18	250,57	Cerâmica/Amianto	50	193,35	Cerâmica/Amianto
19	79,80	Cerâmica	51	68,68	Cerâmica
20	145,83	Cerâmica	52	79,28	Cerâmica
21	181,60	Cerâmica/Amianto	53	75,68	Cerâmica
22	148,20	Cerâmica/Amianto	54	129,67	Amianto
23	113,36	Cerâmica	55	97,97	Cerâmica
24	115,19	Amianto	56	76,35	Amianto
25	112,80	Cerâmica/Amianto	57	80,93	Amianto
26	87,89	Cerâmica	58	192,03	Amianto
27	87,88	Cerâmica	59	0,00	não identificado
28	76,32	Cerâmica	60	51,31	Amianto
29	74,95	Cerâmica	61	55,98	Amianto
30	92,80	Cerâmica	62	75,34	Cerâmica
31	73,27	Cerâmica	63	77,94	Cerâmica
32	71,79	Amianto	64	74,82	Cerâmica
<b>Área total</b>		<b>6.540,79 m<sup>2</sup></b>	<b>Área média</b>	<b>102,20 m<sup>2</sup></b>	

Fonte: Autora

Figura 44: Proporção do material do telhado nas residências da área de estudo, dados coletados de 64 residências, sendo a maior parte de telha de cerâmica.



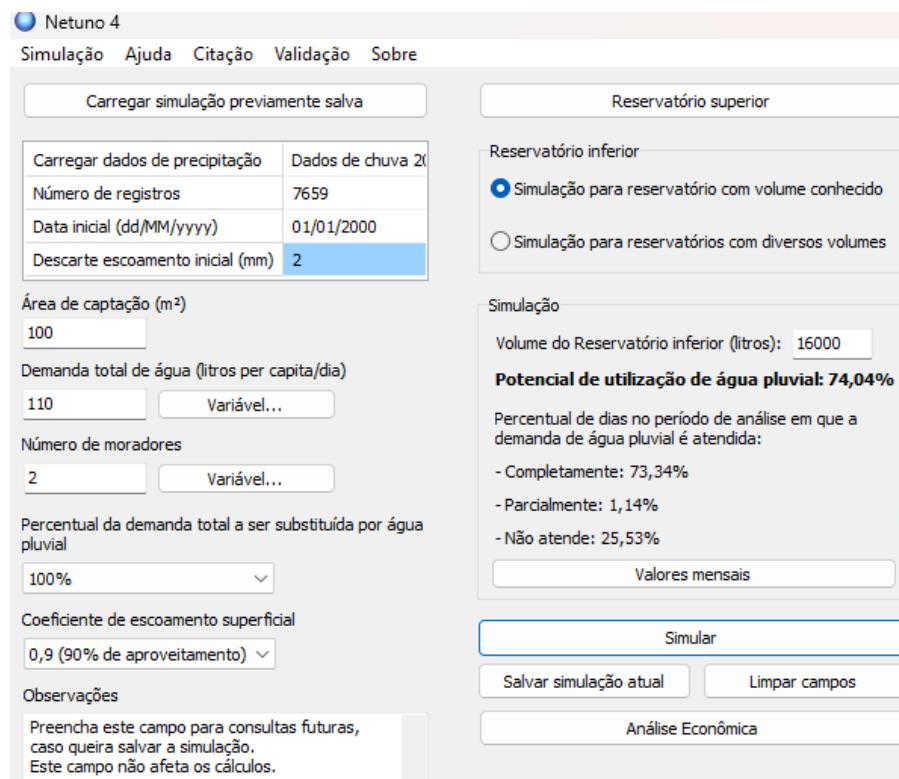
Fonte: Autora (2024)

#### 4.2.2 Estimativa do potencial de captação de água de chuva (telhados)

No programa computacional Netuno 4.0 utilizando a opção de “Simulação para reservatório com volume conhecido”, o reservatório de 16.000L mostrou que o potencial de utilização de água pluvial é de 74,04%, neste caso 73,34% dos dias do ano a demanda seria atendida completamente, parcialmente em 1,14% e não atendida em 25,53%, conforme Figura 45. Na Figura 46 é possível observar que nos meses de dezembro a maio a demanda total de água para abastecimento humano de 220 L é atendida 100%, o que coincide com os meses de maior precipitação na área de estudo. Dessa forma, observa-se que um reservatório de 16.000 litros não atenderia a demanda de água para abastecimento humano em todos os meses do ano, porém nos meses de novembro a maio o potencial de utilização de água pluvial é acima de 90%, sendo os meses de julho, agosto e setembro como o período de menor percentual de utilização de água pluvial, o que quer dizer que mesmo com o reservatório de água de chuva seria necessário a complementação com outra fonte de água para suprir a demanda neste período. O reservatório de 16 mil litros em polietileno pode ser encontrado no mercado com valores entre 8 mil a 12 mil reais conforme o fabricante e o local de compra, porém considerando a renda familiar dos assentados, torna-se inviável a implantação desta tecnologia por parte das famílias, pois nem todos os produtores teriam condições em adquirir esse reservatório.



Figura 45- Resultado da simulação do volume necessário para atendimento das demandas hídricas



Netuno 4

Simulação Ajuda Citação Validação Sobre

Carregar simulação previamente salva

Reservatório superior

Reservatório inferior

Simulação para reservatório com volume conhecido

Simulação para reservatórios com diversos volumes

Carregar dados de precipitação Dados de chuva 2010

Número de registros 7659

Data inicial (dd/MM/aaaa) 01/01/2000

Descarte escoamento inicial (mm) 2

Área de captação (m²) 100

Demandas totais de água (litros per capita/dia) 110 Variável...

Número de moradores 2 Variável...

Percentual da demanda total a ser substituída por água pluvial 100%

Coeficiente de escoamento superficial 0,9 (90% de aproveitamento)

Observações

Preencha este campo para consultas futuras, caso queira salvar a simulação. Este campo não afeta os cálculos.

Simulação

Volume do Reservatório inferior (litros): 16000

**Potencial de utilização de água pluvial: 74,04%**

Percentual de dias no período de análise em que a demanda de água pluvial é atendida:

- Completamente: 73,34%
- Parcialmente: 1,14%
- Não atende: 25,53%

Valores mensais

Simular

Salvar simulação atual Limpar campos

Análise Econômica

Fonte: Autora

Figura 46- Consumo de Água pluvial e Atendimento das demandas hídricas

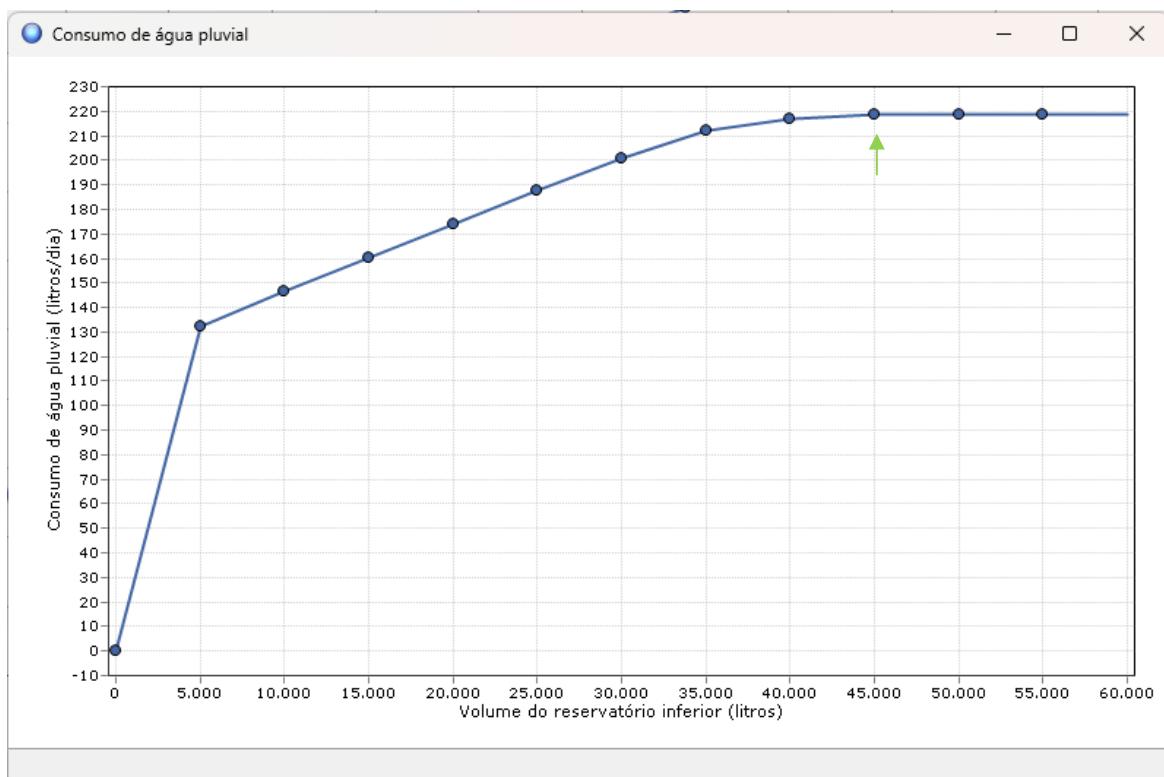
Resultado mensal da simulação								
Mês	Potencial de utilização de água pluvial (%)	Volume consumido de água pluvial (litros)	Volume consumido de água potável (litros)	Volume extravasado (litros)	Atendimento completo (%)	Atendimento parcial (%)	Sem atendimento (%)	Média diária de recalques
Janeiro	100,00	220,00	0,00	559,65	100,00	0,00	0,00	0,00
Fevereiro	100,00	220,00	0,00	415,37	100,00	0,00	0,00	0,00
Março	100,00	220,00	0,00	373,84	100,00	0,00	0,00	0,00
Abril	100,00	220,00	0,00	189,78	100,00	0,00	0,00	0,00
Maio	100,00	220,00	0,00	9,89	100,00	0,00	0,00	0,00
Junho	77,10	169,62	50,38	0,00	76,03	1,75	22,22	0,00
Julho	16,66	36,65	183,35	0,00	15,98	2,00	82,03	0,00
Agosto	5,04	11,10	208,90	0,00	4,76	0,46	94,78	0,00
Setembro	25,44	55,97	164,03	12,68	23,17	3,65	73,17	0,00
Outubro	68,31	150,28	69,72	44,79	64,82	5,07	30,11	0,00
Novembro	98,58	216,88	3,12	376,69	98,25	0,63	1,11	0,00
Dezembro	100,00	220,00	0,00	419,89	100,00	0,00	0,00	0,00
<b>Média</b>	<b>74,04</b>	<b>162,88</b>	<b>57,12</b>	<b>199,05</b>	<b>73,34</b>	<b>1,14</b>	<b>25,53</b>	<b>0,00</b>
<b>Total ano</b>		<b>59453</b>	<b>20847</b>	<b>72654</b>				

Fonte: Autora

Na “Simulação para reservatórios com diversos volumes”, em que o Netuno indica o reservatório ideal, o resultado identificado é que um reservatório com volume a partir de 45.000 t atenderia a demanda de água tendo em vista a área potencial de captação média, conforme Figura 47. Neste caso, a busca pela técnica de construção de reservatórios em ferro-

cimento seria mais indicada para atender a essa capacidade, visto que é uma construção de baixo custo e o reservatório pode ser adequado às condições e necessidades de cada família. Não foi feita a simulação para atendimento da demanda de água para agricultura considerando as áreas pequenas das edificações, neste caso a cisterna calçadão pode ser uma opção de tecnologia com a finalidade de armazenar água para a produção de alimentos, plantas medicinais e criação de pequenos animais.

Figura 47-Resultado da simulação do volume necessário para atendimento das demandas hídricas



Fonte: Autora

#### 4.2.3 Análise da Qualidade de Água da Chuva (Telhado) e Poço Tubular Profundo

Os resultados dos parâmetros analisados para a água da chuva apresentaram-se em conformidade com a Portaria GM/MS N°888/2021 – Potabilidade, exceto Cloro Residual Livre, Ferro, pH à 25°C e Coliformes Totais, conforme descrito na Tabela 10.

**Tabela 10** – Resultado da análise de água da chuva

Parâmetros	Resultados	Un Trab	Portaria GM/MS Nº888	Un	L.Q.
Bactérias Heterotróficas	26	UFC/mL	até 500	-	10
Coliformes Totais	<b>Presença</b>	NMP/100 mL	Ausente	NMP/100 mL	1,0
<i>Escherichia coli</i>	<b>Ausente</b>	NMP/100 mL	Ausente	UFC/100mL	1,0
Cloreto	6,0	mg/L	até 250,0	mg/L	1,0
Cloro Residual Livre	<b>&lt;0,11</b>	mg/L	de 0,20 a 5,00	mg/L	0,11
Cor Verdadeira	<b>&lt;0,21</b>	uH -	até 15,00	uH	0,21
Nitrogênio Ammoniacal	<b>&lt;0,050</b>	mg NH3-N/L	até 1,200	mg/L	0,050
Nitrogênio de Nitratos	<b>&lt;0,23</b>	mg/L	até 10,00	mg/L	0,01
Sólidos Dissolvidos Totais	3	mg/L	até 500	mg/L	1
Dureza Total	3,8	mg/L	até 300,0	mg/L	0,0
Sulfato	<b>&lt;2,00</b>	mg/L	até 250,00	mg/L	0,10
Turbidez	1,72	UNT	até 5,00	UNT	0,02
Alumínio	<b>&lt;0,050</b>	mg/L	até 0,200	mg/L	0,050
Ferro	<b>1,07</b>	mg/L	até 0,30	mg/L	0,09
Manganês Total	<b>&lt;0,07</b>	mg/L	até 0,10	mg/L	0,00
Sódio	4,0	mg/L	até 200,0	mg/L	0,1
pH à 25° C	<b>5,86</b>	Adi	de 6,00 a 9,00	Adi	-

Fonte: Laboratório Hidrosolo Ambiental Ltda-ME (2024)

Os resultados dos parâmetros analisados para a água do Poço Tubular Profundo apresentaram-se em conformidade com a Portaria GM/MS Nº888/2021 – Potabilidade, exceto Cloro Residual Livre, Ferro e Coliformes Totais, conforme descrito na Tabela 11.

**Tabela 11** – Resultado da análise de água do poço Tubular Profundo

Parâmetros	Resultados	Un Trab	Portaria GM/MS Nº888	Un	L.Q.
Bactérias Heterotróficas	39	UFC/mL	até 500	-	10
Coliformes Totais	<b>Presença</b>	NMP/100 mL	Ausente	NMP/100 mL	1,0
<i>Escherichia coli</i>	<b>Ausente</b>	NMP/100 mL	Ausente	UFC/100mL	1,0
Cloreto	5,0	mg/L	até 250,0	mg/L	1,0
Cloro Residual Livre	<b>&lt;0,11</b>	mg/L	de 0,20 a 5,00	mg/L	0,11
Cor Verdadeira	<b>&lt;0,21</b>	uH -	até 15,00	uH	0,21
Nitrogênio Ammoniacal	<b>&lt;0,050</b>	mg NH3-N/L	até 1,200	mg/L	0,050
Nitrogênio de Nitratos	<b>&lt;0,23</b>	mg/L	até 10,00	mg/L	0,01
Sólidos Dissolvidos Totais	<b>108</b>	mg/L	até 500	mg/L	1
Dureza Total	<b>178,6</b>	mg/L	até 300,0	mg/L	0,0
Sulfato	<b>&lt;2,00</b>	mg/L	até 250,00	mg/L	0,10
Turbidez	0,10	UNT	até 5,00	UNT	0,02
Alumínio	<b>&lt;0,050</b>	mg/L	até 0,200	mg/L	0,050
Ferro	<b>0,93</b>	mg/L	até 0,30	mg/L	0,09
Manganês Total	<b>&lt;0,07</b>	mg/L	até 0,10	mg/L	0,00
Sódio	22,1	mg/L	até 200,0	mg/L	0,1
pH à 25° C	7,49	Adi	de 6,00 a 9,00	Adi	-

Fonte: Laboratório Hidrosolo Ambiental Ltda-ME (2024)

A Portaria GM/MS Nº888/2021 estabelece que todos os coliformes devem estar ausentes em 100 mL de amostra. A presença de coliformes em ambas as amostras indica contaminação microbiológica, havendo a necessidade de tratamento da água para consumo humano, sendo necessário a filtração e desinfecção. A ausência de *Escherichia coli* em ambas as fontes indica que, apesar da presença de coliformes totais, não há contaminação fecal atual. Vale ressaltar que a *E. coli* ainda é considerada uma das principais bactérias do grupo de coliforme fecais, pois sua presença indica contaminação recente por matéria fecal (PAULA; LINO, 2021). Os valores em ambas as amostras para Cloro Residual Livre estão abaixo do recomendado, o que sugere a necessidade de desinfecção adequada. A Portaria estabelece um valor máximo de 500 mg/L para sólidos dissolvidos totais. Apesar de ambos estarem abaixo do limite permitido, a água da chuva indica uma melhor qualidade nesse parâmetro. O mesmo se aplica ao parâmetro de dureza total: a água de chuva apresenta uma dureza muito baixa, enquanto a água do poço tem uma dureza maior, mas ainda dentro dos limites permitidos. O limite para ferro na Portaria é de 0,3 mg/L. Ambos os valores excedem esse limite, porém, tanto a água da chuva quanto o poço podem apresentar sabor metálico. O ferro contido na água causa mancha nas instalações sanitárias e nas roupas lavadas, incrustações nos filtros de poço e obstrução nas canalizações (CARVALHO, 2004). Os resultados indicam que ambas as fontes precisam ser tratadas, especialmente em relação à remoção de ferro, desinfecção e ajuste de pH para que atendam aos padrões de potabilidade estabelecidos pela Portaria GM/MS Nº 888/2021.

O tratamento da água de chuva pode ser mais simples, pois envolve basicamente a correção do pH que pode ser ajustado com a adição de cal hidratada ou bicarbonato de sódio para elevar o pH até a faixa recomendada, desinfecção com o uso de cloração ou sistemas de UV para eliminar os coliformes totais, e remoção de Ferro que pode ser realizado por aeração seguida de filtração, sendo relativamente simples em sistemas domésticos. Embora a água do poço tenha uma qualidade geral melhor em termos de pH e turbidez, o tratamento pode ser um pouco mais complexo devido à maior dureza e concentração de sólidos dissolvidos.

Considerando a possível instalação de um sistema de captação de água de chuva no assentamento rural PA Barra Verde, recomenda-se o tratamento da água por meio de um filtro de areia. Barcelos (2005) demonstrou a eficácia desse método ao comparar a qualidade da água de chuva antes e depois da filtração. Os resultados indicaram que a água bruta, inicialmente com um pH levemente ácido (6,2 - 6,7), tornou-se mais alcalina após a passagem pelo filtro (8,9 - 9,8). Além disso, houve uma redução significativa em diversos parâmetros de qualidade da água, como cor (redução de 29,6%), turbidez (redução de 55%), sólidos dissolvidos totais –



SDT (redução de 17,9%), sólidos suspensos – SS (redução de até 100%), sólidos totais – ST (redução de 62,7%), demanda bioquímica de oxigênio – DBO (redução de até 66,6%) e coliformes fecais – CF (redução de até 90,6%). Esses resultados reforçam a efetividade do filtro de areia no tratamento da água de chuva, tornando-a mais adequada para usos não potáveis.

### 4.3 DIMENSIONAMENTO DAS TECNOLOGIAS DE DRENAGEM DE ÁGUAS PLUVIAIS

#### 4.3.1 Teste de Percolação

A taxa de percolação média da área identificada foi de 1373,10 min/m, situando-se entre as faixas de 1200 min/m e 1400 min/m, conforme Tabela 12. A partir dessa aferição, identificou-se o coeficiente de infiltração para a área de estudo como valor médio de 32 L/m<sup>2</sup>.dia, conforme conversão de acordo com a Tabela 13 da NBR13969 (1997). O coeficiente de infiltração varia de acordo com os tipos de solo, sendo assim a área de estudo possui um solo com absorção relativa classificada em “Semi-impermeável”, conforme Tabela 14 do Apêndice A. A partir das aferições de rebaixamento do nível d’água nas cavas, foi possível identificar como resultado o coeficiente de permeabilidade do solo, no valor de  $1,40 \cdot 10^{-5}$  m/s apresentado na Tabela 15. Este resultado é coerente com os solos do tipo plintossolos, presente na área de estudo em sua maior totalidade, pois apresentam diversas restrições em relação ao fluxo interno de água, resultando em uma drenagem deficiente. No entanto, mesmo diante dessa limitação, é viável realizar o manejo de águas pluviais por meio da instalação de tecnologias apropriadas.

**Tabela 12:** Taxa de percolação média

Cavas	Taxa de percolação média (min/m)	Taxa de percolação média da área de estudo (min/m)
1	1450,00	
2	1183,33	
3	1101,19	
4	1666,67	1373,10
5	1087,30	
6	1750,00	

Fonte: Autora

**Tabela 13-** Conversão de valores de taxa de percolação em taxas de aplicação superficial

Taxa de percolação min/m	Taxa máxima de aplicação diária m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .d	Taxa de percolação min/m	Taxa máxima de aplicação diária m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .d
40 ou menos	0,20	400	0,065
80	0,14	600	0,053
120	0,12	1200	0,037



160	0,10	1400	→	0,032
200	0,09	2400		0,024

Fonte: NBR13969/97

**Tabela 15:** Coeficiente de permeabilidade do solo saturado

Cavas	Cota média de abaixamento da água (m)	Intervalo de medição (s)	Coeficiente de permeabilidade (m/s)	Coeficiente de permeabilidade médio da área de estudo (m/s)
1	0,022	1800	$1,20 \cdot 10^{-5}$	
2	0,031	1800	$1,71 \cdot 10^{-5}$	
3	0,029	1800	$1,62 \cdot 10^{-5}$	
4	0,019	1800	$1,06 \cdot 10^{-5}$	<b><math>1,40 \cdot 10^{-5}</math></b>
5	0,030	1800	$1,67 \cdot 10^{-5}$	
6	0,020	1800	$1,11 \cdot 10^{-5}$	

Fonte: Autora



- **Tempo de Duração da chuva**

Considerando que o comprimento do canal principal (Rio Paraná) é de aproximadamente 8,3 km e uma diferença de cota de aproximadamente 12 m, e uma declividade média de 0,0014 m/m, o tempo de concentração para a bacia de estudo identificado foi de aproximadamente 254 minutos, no qual foi adotado nos cálculos o valor de 260 minutos para o tempo de duração da chuva.

- **IDF**

A intensidade da chuva crítica (L/s.ha) corresponde ao tempo de duração (td) calculada pela equação IDF do Distrito Federal. A partir do cálculo, aplicando os valores de tempo de duração de chuva de 260 minutos, e tempo de retorno de 10 anos, obteve-se o valor de 49,80 L/s.ha, equivalente a 17,9 mm/h.

### Trincheira de Infiltração

Para a trincheira sem preenchimento, obteve-se o comprimento de 17 metros e volume de 33,80 m<sup>3</sup> para o dispositivo, enquanto para a trincheira com preenchimento o comprimento foi de 35 metros e volume de 69,14m<sup>3</sup>. O volume total escavado para as trincheiras sem preenchimento é de 5.949 m<sup>3</sup>, enquanto para a trincheira com preenchimento o volume total escavado é de 12.169 m<sup>3</sup>, conforme Tabelas 15 e 16.

**Tabela 15:** Volume trincheira de infiltração sem preenchimento.  
**Trincheira de Infiltração (Sem preenchimento)**

Geometria	Largura da trincheira (m):	b= 1
	Comprimento da trincheira (m):	L= 17
	Altura do nível d'água dentro da trincheira (m):	H= 2
	Declividade longitudinal da trincheira (m/m):	i= 0.0014
	Volume de preenchimento da trincheira (m <sup>3</sup> ):	Vp= 33.80
Variáveis físicas e climáticos	Tempo duração da chuva (min):	td= 260.00
	Tempo de recorrência da chuva (anos):	T= 10
	Porosidade do material ou índice vazios (%):	P= 100
	Coeficiente de escoamento superficial (adim.: 0 a 1):	C= 0.40
	Área de contribuição (ver):	Ac= 0.100
	Intensidade da chuva crítica para o tempo de duração (L/s.ha):	I= 49.79
	Vazão de restrição pré desenvolvimento (L/s.ha):	Qe= 0.00

Continua.


**Tabela 15:** Volume trincheira de infiltração sem preenchimento.

<b>Trincheira de Infiltração (Sem preenchimento)</b>	
Coeficiente de permeabilidade do solo saturado (m/s): Coeficiente de segurança para a permeabilidade do solo (adim.): Área de infiltração da trincheira (fundo e metade altura das paredes – $m^2$ ): Volume de infiltração na trincheira ( $m^3$ ):	$k = 1.40 \cdot 10^{-5}$ $C_s = 0.5$ $A_{inf} = 50.80$ $V_{inf} = 33.29$

Fonte: Autora

**Tabela 16:** Volume trincheira de infiltração com preenchimento.

<b>Trincheira de Infiltração (Com preenchimento)</b>	
<b>Geometria</b> Largura da trincheira (m): Comprimento da trincheira (m): Altura do nível d'água dentro da trincheira (m): Declividade longitudinal da trincheira (m/m): Volume de preenchimento da trincheira ( $m^3$ ):	$b = 1$ $L = 35$ $H = 2$ $i = 0.0014$ $V_p = 69.14$
<b>Variáveis físicas e climáticos</b> Tempo duração da chuva (min): Tempo de recorrência da chuva (anos): Porosidade do material ou índice vazios (%): Coeficiente de escoamento superficial (adim.: 0 a 1): Área de contribuição (ver): Intensidade da chuva crítica para o tempo de duração (L/s.ha):  Vazão de restrição pré desenvolvimento (L/s.ha): Coeficiente de permeabilidade do solo saturado (m/s): Coeficiente de segurança para a permeabilidade do solo (adim.): Área de infiltração da trincheira (fundo e metade altura das paredes – $m^2$ ): Volume de infiltração na trincheira ( $m^3$ ):	$td = 260.00$ $T = 10$ $P = 40$ $C = 0.40$ $Ac = 0.100$ $I = 49.79$  $Qe = 0.00$ $k = 1.40 \cdot 10^{-5}$ $C_s = 0.5$ $A_{inf} = 50.80$ $V_{inf} = 68.66$

Fonte: Autora

- **Poço de Infiltração**

Para o poço sem preenchimento, obteve-se profundidade de 4 metros para o dispositivo e volume de  $3,14 m^3$ , enquanto para o poço com preenchimento a profundidade foi de 8 metros e volume de  $6,28 m^3$ . O volume total escavado para os poços sem preenchimento é de  $5.526 m^3$ , enquanto para a poço com preenchimento o volume total escavado é de  $11.053 m^3$ , conforme Tabelas 17 e 18.


**Tabela 17:** Volume poço de infiltração sem preenchimento.

<b>Poço de infiltração (Sem preenchimento)</b>	
Geometria	Altura do poço (m):
	Diâmetro do poço (m):
	Volume armazenado no poço (m <sup>3</sup> ):
	Tempo duração da chuva (min):
	Tempo de recorrência da chuva (anos):
	Porosidade do material ou índice vazios (%):
	Coeficiente de escoamento superficial (adim.: 0 a 1):
	Área de contribuição (ver):
	Intensidade da chuva crítica para o tempo de duração (L/s.ha):
	Vazão de restrição pré desenvolvimento (L/s.ha):
Variáveis físicas e climáticos	Coeficiente de permeabilidade do solo saturado (m/s):
	Coeficiente de segurança para a permeabilidade do solo (adim.):
	Área de infiltração do poço (fundo e metade altura das paredes – m <sup>2</sup> ):
	Volume de infiltração do poço (m <sup>3</sup> ):
	H= 4.00
	D= 1.00
	Vp= <b>3.14</b>
	td= 260.00
	T= 10
	P= 100
	C= 0.40
	Ac= 0.010
	I= 49.79
	Qe= 0.00
	k= 1.40.10 <sup>-5</sup>
	Cs= 0.5
	Ainf 7.07
	Vinf= <b>3.11</b>

Fonte: Autora

**Tabela 18:** Volume poço de infiltração com preenchimento.

<b>Poço de infiltração (Com preenchimento)</b>	
Geometria	Altura do poço (m):
	Diâmetro do poço (m):
	Volume armazenado no poço (m <sup>3</sup> ):
	Tempo duração da chuva (min):
	Tempo de recorrência da chuva (anos):
	Porosidade do material ou índice vazios (%):
	Coeficiente de escoamento superficial (adim.: 0 a 1):
	Área de contribuição (ver):
	Intensidade da chuva crítica para o tempo de duração (L/s.ha):
	Vazão de restrição pré desenvolvimento (L/s.ha):
Variáveis físicas e climáticos	Coeficiente de permeabilidade do solo saturado (m/s):
	Coeficiente de segurança para a permeabilidade do solo (adim.):
	Área de infiltração do poço (fundo e metade altura das paredes – m <sup>2</sup> ):
	Volume de infiltração do poço (m <sup>3</sup> ):
	H= 8.00
	D= 1.00
	Vp= <b>6.28</b>
	td= 260.00
	T= 10
	P= 40
	C= 0.40
	Ac= 0.010
	I= 49.79
	Qe= 0.00
	k= 1.40.10 <sup>-5</sup>
	Cs= 0.5
	Ainf 13.35
	Vinf= <b>6.06</b>

Fonte: Autora



- **Reservatório de retenção**

Obteve-se o volume de 11,52 m<sup>3</sup> para cada reservatório de retenção, e volume total escavado de 6.475 m<sup>3</sup>, conforme Tabela 19.

**Tabela 19:** Volume Reservatório de Infiltração

Reservatório de retenção	
<b>Geometria</b>	Largura da base do reservatório (m): Comprimento do reservatório (m): Altura do nível d'água no reservatório (m): Inclinação dos taludes (adim.): 1 equivale a 45° Volume armazenado no reservatório (m <sup>3</sup> ):  <b>Variáveis físicas e climáticos</b> Tempo duração da chuva (min): Tempo de recorrência da chuva (anos): Porosidade do material ou índice vazios (%): Coeficiente de escoamento superficial (adim.: 0 a 1): Área de contribuição (ver): Intensidade da chuva crítica para o tempo de duração (L/s.ha):  Vazão de restrição pré desenvolvimento (L/s.ha): Coeficiente de permeabilidade do solo saturado (m/s): Coeficiente de segurança para a permeabilidade do solo (adim.): Área de infiltração do reservatório (fundo e metade altura das paredes – m <sup>2</sup> ): Volume de infiltração no reservatório (m <sup>3</sup> ):  <b>Fonte:</b> Autora
	b= 1.6 L= 1.6 H= 2 z= 1 Vp= <b>11.52</b>  td= 260.00 T= 10 P= 100 C= 0.40 Ac= 0.0313 I= 49.79  Qe= 0.00 k= 1.40.10 <sup>-5</sup> Cs= 0.5 Ainf 89.10  Vinf= <b>11.20</b>

- **Valeta**

O volume total escavado para as valetas é de 4.320 m<sup>3</sup>, com base de 18 cm e altura de 30 cm, conforme Tabela 20.

**Tabela 20:** Volume da Valeta

Valeta	
<b>Geometria</b>	Largura da base da valeta (m): Comprimento da valeta (m): Altura do nível d'água na valeta (m): Inclinação dos taludes (adim.): 1 equivale a 45° Volume armazenado na valeta (m <sup>3</sup> ):  <b>Variáveis físicas e climáticos</b> Tempo duração da chuva (min): Tempo de recorrência da chuva (anos): Porosidade do material ou índice vazios (%):  <b>Fonte:</b> Autora
	b= 0.18 L= 30.000 H= 0.30 z= 1 Vp= <b>4.320</b>  td= 260.00 T= 10 P= 100

Continua.


**Tabela 20:** Volume da Valeta

<b>Valeta</b>	
Variáveis físicas e climáticos	Coeficiente de escoamento superficial (adim.: 0 a 1): Área de contribuição (ver): Intensidade da chuva crítica para o tempo de duração (L/s.ha):  Vazão de restrição pré desenvolvimento (L/s.ha): Coeficiente de permeabilidade do solo saturado (m/s): Coeficiente de segurança para a permeabilidade do solo (adim.): Área de infiltração da valeta (fundo e metade altura das paredes – m <sup>2</sup> ): Volume de infiltração na valeta (m <sup>3</sup> ):  <b>C= 0.40</b> <b>Ac= 17.60</b> <b>I= 49.79</b>  <b>Qe= 0.00</b> <b>k= 1.40.10<sup>-5</sup></b> <b>Cs= 0.5</b> <b>Ainf 23400,00</b>  <b>Vinf= 4.280</b>

Fonte: Autora

- **Barraginhas**

O espaçamento horizontal entre barraginhas  $EH = 77,38$  m. A área de contribuição calculada é  $Ac = 313,52$  m<sup>2</sup>, o que corresponde a um total de 562 barraginhas ao longo das vias e a Intensidade da chuva ( $I$ ) = 4,1 mm/h, o que corresponde a uma lâmina de escoamento (ES) = 98,4 mm para uma chuva de duração de 24h. Sendo assim, o volume armazenado pela bacia (VB) é de 30,85 m<sup>3</sup>, no qual foi adotado Raio VER = 3,2 m e profundidade (h) = 2 metros. A Tabela 21 apresenta a comparação dos dispositivos em relação ao volume dos mesmos.

**Tabela 21:** Comparação de volumes.

<b>Dispositivo</b>	<b>Dimensões (m)</b>	<b>Volume (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Volume total (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Quantidade (unid)</b>
<b>Trincheira (sem preenchimento)</b>	b = 1	33,8	5.949	176 (área de contribuição a cada 1000 m <sup>2</sup> )
	L = 17			
	H = 2			
<b>Trincheira (com preenchimento)</b>	B = 1	69,14	12.169	176 (área de contribuição a cada 1000 m <sup>2</sup> )
	L = 35			
	H = 2			
<b>Poço de infiltração (sem preenchimento)</b>	H = 4	3,14	5.526	1760 (área de contribuição a cada 100 m <sup>2</sup> )
	D = 1			
<b>Poço de infiltração (com preenchimento)</b>	H = 8	6,28	11.053	1760 (área de contribuição a cada 100 m <sup>2</sup> )
	D = 1			

Continua.



Tabela 21: Comparação de volumes.

Dispositivo	Dimensões (m)	Volume (m <sup>3</sup> )	Volume total (m <sup>3</sup> )	Quantidade (unid)
Valeta	B = 0,18	-	4.320	1 (área de contribuição corresponde a área das estradas)
	L = 30.000			
	H = 0,3			
	z = 45º			
Reservatório de retenção	B = 1.6	11.52	6.475	562 (área de contribuição a cada 313,5 m <sup>2</sup> )
	L = 1.6			
	H = 2			
	z = 45º			
Barraginha	R = 3,2	30,85	17.338	562 (área de contribuição a cada 313,5 m <sup>2</sup> )
	h = 2			
	z = 45º			

Fonte: Autora

Referente às tecnologias de drenagem, foram calculados os dispositivos de infiltração do tipo trincheira, adotando-se largura de 1 metro e profundidade de 2 metros e poços com diâmetro de 1 metro, medidas essas usualmente utilizadas na construção dos mesmos. Enquanto a área de contribuição para cada trincheira foi de 1000 m<sup>2</sup>, para o poço foi de 100 m<sup>2</sup>, isso se deve ao fato de as trincheiras serem dispositivos lineares superficiais, e os poços dispositivos pontuais e profundos. Comparando a trincheira e o poço, os volumes totais escavados ficaram próximos tanto para sem preenchimento quanto com preenchimento, sinalizando o funcionamento semelhante entre os dois dispositivos. Quando se tem maior área superficial disponível recomenda-se a trincheira, e quando há menor área, os poços de infiltração são mais indicados. No entanto, para a área de estudo as trincheiras e poços não são uma escolha adequada de aplicação, pois podem sofrer com o processo de colmatação do dispositivo, devido a grande presença de sedimentos presente nas estradas (ADASA, 2023).

No reservatório de retenção e barraginha foi adotada uma profundidade de 2 metros e área de contribuição de 313,5 m<sup>2</sup> em ambos, isto foi feito com o objetivo de comparar as duas metodologias de cálculo. Para o reservatório é necessário um volume de 11,52 m<sup>3</sup> para armazenamento, enquanto a barraginha necessita de um volume de 30,85 m<sup>3</sup>. Tal diferença de valores deve-se ao fato de que a barraginha aplica no cálculo de intensidade de chuva uma



duração de 24 horas conforme proposta de Bertoni (1959), enquanto no cálculo do reservatório é aplicado o tempo de concentração da bacia, tornando a barraginha com maior dimensão. Contudo, quando se aplica no cálculo da barraginha a mesma duração de chuva do reservatório, o volume necessário para armazenamento é de 5,6 m<sup>3</sup>, ou seja, é um volume subestimado comparado ao cálculo proveniente do manual de drenagem da ADASA (2023) e que possui maiores parâmetros e critérios para o dimensionamento de estruturas de drenagem.

As valetas foram os dispositivos que obtiveram o menor volume necessário para escavação, totalizando 4.320 m<sup>3</sup>, com profundidade de 30 cm e base de 18 cm, em ambos os lados da estrada. No entanto, vale ressaltar que somente as valetas não funcionarão de maneira eficiente como dispositivo de infiltração, mas sim como um dispositivo condutor de água.

Devido a esse fato, a solução mais recomendada seria adotar o dispositivo de valetas em conjunto com o reservatório de retenção, pois parte do escoamento seria armazenado e infiltrado nas valetas, e parte não infiltrada ao longo das valetas seria conduzida para os reservatórios.

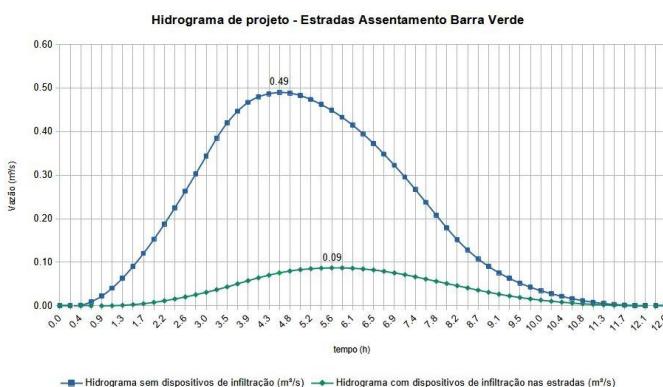
#### **4.3.2 Estimativa da redução da vazão de água pluvial na drenagem da área de estudo-Hidrograma**

O Hidrograma de Projeto, calculado sem a presença de dispositivos de infiltração, apresentou uma vazão de pico de 0,49 m<sup>3</sup>/s, com tempo de pico de 4,8 horas e tempo de base de 12,6 horas. Este cenário reflete as condições atuais da área de estudo, caracterizada pela presença de estradas rurais com baixa capacidade de infiltração e maior escoamento superficial. Por outro lado, o Hidrograma de Amortecimento foi elaborado considerando a implementação de dispositivos de infiltração, os quais simulam condições hidrológicas semelhantes às de áreas mais vegetadas, com maior capacidade de infiltração. Nesse cenário, a vazão de pico foi reduzida para 0,09 m<sup>3</sup>/s, e o tempo de pico foi ampliado para 5,6 horas. Esses resultados indicam que os dispositivos de infiltração desempenham um papel essencial no controle do escoamento superficial, promovendo a infiltração e reduzindo o impacto hidrológico das chuvas intensas.

Ao analisar o Figura 48, observa-se que o Hidrograma de Amortecimento apresenta um formato mais distribuído, com menor acúmulo de água em um curto intervalo de tempo. Essa redistribuição do escoamento superficial traz diversas vantagens, como a mitigação de alagamentos, uma vez que a redução da concentração de água em um único ponto minimiza os impactos das chuvas intensas em áreas críticas, como as estradas rurais. Além disso, o aumento da infiltração favorece o reabastecimento do lençol freático, contribuindo para a recarga de aquíferos e para a sustentabilidade hídrica da região. Outra vantagem relevante é a proteção do

so, pois a redução da vazão de pico diminui o risco de erosão em áreas suscetíveis, especialmente nas margens das estradas.

Figura 48 - Hidrograma de projeto sem os dispositivos de infiltração e Hidrograma de amortecimento.



Fonte: Autora

## 5 PRODUTO FINAL

Durante as vistorias in loco e entrevista com os moradores, foi observado que a comunidade tem algum conhecimento sobre manejo de águas pluviais, mas não possuem condições financeiras de implantar sistemas de armazenamento de água de chuva ou outras técnicas de drenagem de água pluvial, conforme resultado da entrevista a renda mensal é até 2 (dois) salários mínimos, sendo a renda constituída pela aposentadoria de algum integrante da residência, e/ou pelo programa governamental Auxílio Brasil. Somando-se a isso, as áreas rurais ainda enfrentam o desafio no recebimento de recursos e financiamento para a execução de projetos de saneamento rural, tendo em vista o encarecimento destes serviços considerando a menor densidade populacional e a dispersão geográfica das áreas rurais.

A falta de incentivos financeiros ou apoio governamental pode dificultar ainda mais a viabilidade econômica da implantação de tecnologias de manejo de águas pluviais. Uma maneira de financiamento de projetos ambientais e/ou socioambientais é a utilização de instrumentos legais que possibilitam a conversão de multas ambientais em serviços ambientais (SOUZA, 2020). Um exemplo concreto desse mecanismo é observado na atuação da Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável do Estado de Goiás (SEMAD-GO), que realiza a conversão de multas ambientais em serviços de preservação, melhoria e recuperação da qualidade do meio ambiente nos termos da Lei nº 18.102/2013 (BRASIL, 2013). O processo de conversão é formalizado através do Termo de Compromisso Ambiental e Conversão de Multas (TCACM), um documento que consolida o entendimento entre o órgão ambiental e o autuado para a realização do acordo de conversão de multa (GOIÁS, 2024).



Dessa forma, a conversão de multas ambientais pode viabilizar o financiamento de tecnologias de manejo de águas pluviais em áreas rurais, visando facilitar a infiltração e o armazenamento temporário do escoamento superficial. Essas tecnologias têm o propósito de mitigar os impactos causados por alagamentos em períodos chuvosos, ao mesmo tempo em que ampliam o acesso à água pluvial para consumo humano, contribuindo significativamente para o abastecimento de água potável.

De acordo com o Decreto Federal Nº 6.514/2008 entre os serviços ambientais em que pode ser convertida as multas ambientais, destacam-se os projetos que tenham como objetivo o “saneamento básico” e a “mitigação ou adaptação às mudanças do clima” (BRASIL, 2008). Nesse contexto, ao canalizar recursos provenientes da conversão de multas ambientais para projetos específicos de mitigação, as comunidades rurais podem não apenas melhorar sua capacidade de resposta a eventos climáticos extremos, como alagamentos, mas também promover práticas sustentáveis de gestão da água.

Considerando o exposto acima o produto final do presente trabalho representa um Relatório Técnico abordando as tecnologias de manejo de águas pluviais mais adequadas às áreas rurais. Este Relatório Técnico será destinado à Prefeitura Municipal de Formosa-GO, que é o órgão público competente para executar e aplicar as tecnologias em manejo de águas pluviais na área de estudo. Além disso, o Relatório Técnico poderá servir como subsídio para elaboração de Termo de Compromisso Ambiental-TCA com a finalidade de conversão de multas provenientes de infrações ambientais.

Conforme Art. 192 Lei Municipal nº 442/2017 que institui o Código Municipal de Meio Ambiente do município de Formosa/GO, para os casos de procedimento de conversão de multa o valor poderá ser convertido em áreas verdes de interesse público, projetos de melhoria e preservação da qualidade ambiental de interesse público, implementação de obras ou atividades de recuperação de áreas degradadas de interesse público, custeio ou execução de programas e de projetos ambientais desenvolvidos por entidades públicas de proteção e conservação do meio ambiente, manutenção de espaços públicos que tenham como objetivo a preservação do meio ambiente, projetos de educação ambiental desenvolvidos pelo órgão ambiental municipal, além da destinação prioritária para criação e manutenção de Unidades de Conservação Municipais.

A proposta é direcionar recursos provenientes de multas arrecadadas pela SEMMA-Secretaria Municipal de Meio Ambiente de Formosa-GO para o financiamento de projetos destinados ao manejo de águas pluviais em ambientes rurais. Isso pode incluir a construção de dispositivos de drenagem e a aquisição de reservatórios de água de chuva para atender às necessidades de comunidades rurais de baixa renda.



## 6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Diante do atual cenário de ausência de manejo de águas pluviais em zonas rurais, a alternativa de implantação de tecnologias de manejo de águas pluviais mostra-se viável para o Assentamento (PA) Barra Verde. Na revisão bibliográfica foram apresentados os aspectos relevantes para a definição dos parâmetros utilizados na metodologia. Pode-se citar estudos que avaliaram a viabilidade econômica e ambiental do aproveitamento de água de chuva e os componentes básicos que devem ser considerados na instalação do sistema de captação de água de chuva. O quadro comparativo dos diferentes tipos de cisternas pode auxiliar numa orientação mais assertiva do sistema de captação de água de chuva residencial mais adequado de acordo com a necessidade e realidade da área de estudo. A revisão bibliográfica sobre as tecnologias de drenagem de águas pluviais mostra que os dispositivos de infiltração contribuem significativamente para a redução do escoamento superficial e a prevenção de alagamentos.

A caracterização física por meio do diagnóstico ambiental permitiu um maior entendimento da área de estudo através da descrição e análise da qualidade ambiental no local. Constatou-se que a disponibilidade de água no local provém de poços tubulares profundos de algumas parcelas, sendo compartilhados entre moradores, não sendo identificadas outras fontes de água como acesso ao sistema de abastecimento público, cisternas, carro pipa ou açude. A caracterização também permitiu identificar que as estradas rurais são as áreas mais afetadas com a falta de drenagem pluvial.

A entrevista realizada com as 42 famílias do assentamento PA Barra Verde permitiu compreender as condições socioeconômicas, o acesso a recursos hídricos e as práticas de subsistência locais, fornecendo um panorama da realidade enfrentada pelos moradores. O resultado da entrevista evidenciou que as famílias residentes no assentamento possuem uma renda limitada, dependente em grande parte de programas sociais e da agricultura familiar. As práticas de cultivo são voltadas predominantemente para o consumo próprio, sendo realizadas principalmente no período chuvoso, dada a escassez de água para irrigação durante a seca. Em relação ao acesso à água, os dados mostram que apenas 61% das famílias possuem poço tubular profundo, enquanto o restante depende da água do poço de vizinhos. A qualidade da água dos poços foi descrita como “calcária” ou “salobra,” o que leva 86% das famílias a depender de água mineral para o consumo humano, adquirida em municípios vizinhos, uma realidade que impõe desafios adicionais, tanto financeiros quanto logísticos. A coleta de água da chuva ainda é rudimentar e não totalmente eficaz, sendo praticada por apenas uma pequena parte das famílias de forma precária. Esses resultados destacam a necessidade de intervenções que promovam o acesso seguro e adequado aos recursos hídricos, como a construção de



infraestrutura para coleta e armazenamento de água da chuva e melhorias no tratamento da água disponível. Além disso, o resultado da entrevista reforça a importância de políticas públicas que incentivem a resiliência hídrica em áreas rurais, com foco na mitigação dos impactos causados pelas mudanças climáticas.

O levantamento aéreo permitiu a vetorialização das 64 edificações, resultando em uma área média de cobertura de 102,20 m<sup>2</sup>, sendo o material de cerâmica do telhado com maior predominância. Esse detalhamento forneceu subsídios para as simulações de captação e armazenamento de água de chuva, realizadas para avaliar a viabilidade de diferentes volumes de reservatórios. Na simulação de um reservatório de 16.000 litros, o potencial de utilização da água de chuva foi estimado em 74,04%, com atendimento total da demanda em 73,34% dos dias do ano e parcial em 1,14%, enquanto 25,53% dos dias não teriam a demanda atendida. Durante os meses de maior precipitação (novembro a maio), esse volume seria suficiente para atender integralmente à demanda de 220 L diárias, porém, nos meses de estiagem (julho, agosto e setembro), o reservatório não supriria as necessidades, evidenciando a necessidade de complementar com outras fontes de água. A simulação com diferentes volumes de reservatórios indicou que, para garantir o abastecimento contínuo ao longo do ano, seria necessário um reservatório de pelo menos 45.000 litros. No entanto, devido ao alto custo de aquisição de reservatórios de grande capacidade, essa solução é economicamente inviável para a maioria das famílias do assentamento. Nesse contexto, uma alternativa mais acessível e eficiente seria a construção de cisternas em ferrocimento, adaptadas para o armazenamento de água da chuva, o que facilitaria o uso doméstico e agrícola, com potencial para atender às necessidades básicas da comunidade.

A análise de qualidade da água indicou que tanto a água de chuva captada nos telhados quanto a água de poço profundo necessitam de tratamento para atender aos padrões de potabilidade estabelecidos pela Portaria GM/MS N° 888/2021. A presença de coliformes totais e níveis elevados de ferro em ambas as fontes reforça a importância de desinfecção, filtração e ajuste de pH. O tratamento da água de chuva é mais simples e viável para uso doméstico, enquanto o tratamento da água do poço pode exigir etapas adicionais devido à sua maior dureza e concentração de sólidos dissolvidos. Considerando que a análise da qualidade da água foi realizada com apenas uma amostra de água da chuva captada do telhado e uma amostra de água do poço tubular profundo, recomenda-se que estudos futuros ampliem a amostragem, analisando diferentes coletas ao longo do tempo e em condições variadas. Isso permitirá uma avaliação mais consistente e representativa da qualidade da água disponível na região.



O estudo do dimensionamento de tecnologias de drenagem para o assentamento PA Barra Verde permitiu avaliar a eficiência de diferentes dispositivos de infiltração e retenção de águas pluviais, considerando as características específicas do solo e a intensidade de chuva local. Apesar do solo presente na área do assentamento possuir um baixo valor de coeficiente de permeabilidade, tal fato não é um impedimento para adoção de dispositivos de infiltração ao longo de suas vias a fim de abater o escoamento superficial. As trincheiras e poços em área rurais possui uma viabilidade baixa e maior custo, pois normalmente necessitam aplicar maior quantidade de materiais em sua estrutura, com o objetivo de conter e manter a suas geometrias, além disso sofrem com o processo de colmatação, dificultando sua utilização em estradas vicinais. O reservatório de retenção e valetas são dispositivos que possuem maior viabilidade e menores custos, pois são dispositivos que possuem uma geometria que conferem estabilidade no processo de escavação, assim como maior facilidade de manutenção, por meio da remoção do material que se acumula no fundo ao longo do tempo, garantindo o volume adequado para o escoamento, armazenamento e infiltração ao longo das vias.

O estudo dos hidrogramas de projeto e amortecimento demonstrou a relevância dos dispositivos de infiltração como uma ferramenta eficaz para a gestão de águas pluviais, especialmente em áreas rurais, como o assentamento em questão. A comparação entre o hidrograma de projeto, sem o uso desses dispositivos, e o hidrograma de amortecimento, que considera os efeitos de maior infiltração proporcionados por esses sistemas, evidencia os impactos positivos da implementação de tecnologias de manejo de águas pluviais. A implementação dos dispositivos de infiltração, portanto, apresenta benefícios não apenas para a drenagem, mas também para a gestão integrada de recursos hídricos, fornecendo uma solução sustentável para os problemas de escoamento e alagamento nas áreas rurais. Esses resultados reforçam a importância de planejar e adotar tecnologias de manejo de águas pluviais que promovam a infiltração e a redução dos impactos hidrológicos.

A implantação de tecnologias de manejo de águas pluviais em áreas rurais, como no assentamento PA Barra Verde, enfrenta desafios significativos, sobretudo relacionados ao financiamento. Observou-se que, apesar de a comunidade ter algum entendimento sobre técnicas de manejo de águas pluviais, a limitação de recursos impede a implementação de sistemas eficazes de armazenamento e drenagem. Esse cenário é agravado pela menor densidade populacional e pela dispersão geográfica, características comuns de áreas rurais, que aumentam os custos dos projetos e dificultam o acesso a recursos públicos de saneamento. Sendo assim, recomenda-se que em estudos futuros seja feito o levantamento de custos da



implantação de tecnologias de manejo de águas pluviais, incluindo o tratamento da água, com o objetivo de alcançar recursos públicos para financiamento da implantação dessas tecnologias.

A utilização de instrumentos legais para a conversão de multas ambientais em serviços ambientais surge como uma alternativa viável para viabilizar esses projetos. Assim, esses recursos poderiam ser direcionados à instalação de tecnologias de manejo de águas pluviais, que, além de mitigar alagamentos em períodos chuvosos, contribuiriam para a captação e armazenamento de água pluvial, apoiando o abastecimento de água em comunidades rurais. Em conclusão, a estratégia de conversão de multas ambientais representa uma oportunidade significativa para o financiamento de soluções de drenagem e armazenamento de água em áreas rurais. A aplicação desses recursos poderá ampliar a resiliência dessas comunidades a eventos climáticos extremos e fornecer um recurso hídrico adicional para consumo, melhorando as condições de vida e promovendo a sustentabilidade ambiental.

Recomenda-se pesquisas futuras que tenham a finalidade de contribuir para o planejamento de ações que visem à sustentabilidade hídrica do assentamento, ao mesmo tempo que possam apontar para a importância do apoio técnico e financeiro na implementação de soluções de armazenamento e tratamento de água para garantir a segurança hídrica e melhorar a qualidade de vida da comunidade.

## 7.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR12216. **Projeto de estação de tratamento de água para abastecimento público.** Rio de Janeiro: ABNT, 1992.
2. ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR13969. **Tanques sépticos – Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos – Projeto, construção e operação.** Rio de Janeiro: ABNT, 1997.
3. ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR15527. **Água de chuva: aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis – requisitos.** Rio de Janeiro: ABNT, 2007.
4. ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR15527. **Aproveitamento de água de chuva de coberturas para fins não potáveis. 2ed – requisitos.** Rio de Janeiro: ABNT, 2019.
5. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA), HIDROWEB. 2022. Disponível em: <[www.ana.gov.br](http://www.ana.gov.br)> Acesso em: 15 Dez. 2022.
6. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA), HIDROWEB. 2022. Disponível em: <[www.ana.gov.br](http://www.ana.gov.br)> Acesso em: 19 Out. 2023.
7. AGÊNCIA REGULADORA DE ÁGUAS, ENERGIA E SANEAMENTO DO DISTRITO FEDERAL (ADASA) 2020. **RESOLUÇÃO N° 18, DE 19 DE OUTUBRO DE 2020:** Estabelece valores de referência para a determinação da demanda de água por atividade, para fins de outorga prévia ou de direito de uso de recursos hídricos em corpos hídricos de domínio do Distrito Federal e dá outras providências. Brasília, DF, 2020. Disponível em <[https://www.adasa.df.gov.br/images/storage/legislacao/Res\\_ADASA/2020/Res\\_2020pdf/Resolu%C3%A7%C3%A3o%20n%C2%BA%202018\\_2020Valores%20de%20refer%C](https://www.adasa.df.gov.br/images/storage/legislacao/Res_ADASA/2020/Res_2020pdf/Resolu%C3%A7%C3%A3o%20n%C2%BA%202018_2020Valores%20de%20refer%C)>



- 3%AAncia%20para%20demanda%20de%20%C3%A1guas%20para%20fins%20de%20outorga%20-%20Revoga%20IN%2002-2006%20-%20Final.pdf> Acesso em 20 de Jan. de 2023.
8. AGÊNCIA REGULADORA DE ÁGUAS, ENERGIA E SANEAMENTO DO DISTRITO FEDERAL (ADASA) 2023. **Manual de drenagem e manejo de águas pluviais urbanas do distrito federal.** Brasília, DF, 2023 Disponível em [https://www.adasa.df.gov.br/images/storage/area\\_de\\_atuacao/drenagem\\_urbana/regula%C3%A7%C3%A3o/Manual\\_de\\_drenagem\\_e\\_manejo\\_de\\_aguas\\_urbanas/Manual%20Drenagem%20Adasa\\_Digital\\_rev\\_compactado-2\\_compressed.pdf](https://www.adasa.df.gov.br/images/storage/area_de_atuacao/drenagem_urbana/regula%C3%A7%C3%A3o/Manual_de_drenagem_e_manejo_de_aguas_urbanas/Manual%20Drenagem%20Adasa_Digital_rev_compactado-2_compressed.pdf). Acesso em: 19 de Abril de 2024.
  9. ANDRADE NETO, C.O. **Proteção sanitária das cisternas rurais.** In: Simpósio Lusobrasileiro De Engenharia Sanitária E Ambiental, 11., 2004. Natal-RN. Resumos.Natal-RN, ABES/APESB/APRH, 2004. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/294734421\\_APROVEITAMENTO\\_IMEDIATO\\_DA\\_AQUA\\_DE\\_CHUVA](https://www.researchgate.net/publication/294734421_APROVEITAMENTO_IMEDIATO_DA_AQUA_DE_CHUVA). Acesso em 01 de jun de 2024.
  10. ARAÚJO, Luttemberg Ferreira de. DesvíoUFPE como barreira sanitária para melhoria da qualidade de água de chuva em zona rural: determinação de deposição seca e melhoria de desempenho. 2017. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/29898>. Acesso em 23 de setembro de 2023.
  11. ASA, Articulação Semiárido Brasileiro(ed.). **Tecnologias Sociais Para Convivência Com O Semiárido: série estocagem de água para produção de alimentos. Série Estocagem de Água para Produção de Alimentos.** 2015. ASA-ARTICULAÇÃO SEMIÁRIDO BRASILEIRO. Disponível em: [https://issuu.com/articulacaosemiarido/docs/cartilha\\_barragem-subterranea\\_edita?utm\\_medium=referral&utm\\_source=www.asabrasil.org.br](https://issuu.com/articulacaosemiarido/docs/cartilha_barragem-subterranea_edita?utm_medium=referral&utm_source=www.asabrasil.org.br). Acesso em: 09 ago. 2023.
  12. BAPTISTA, Márcio Benedito; NASCIMENTO, Nilo de Oliveira; BARRAUD, Sylvie. **Técnicas Compensatórias em Drenagem Urbana.** 2. Ed. Porto Alegre-Rs: Abrh-Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2015. 318 p.
  13. BARBETTA, Pedro Alberto. **Estatística aplicada às ciências sociais.** Ed. UFSC, 2008. Disponível em: [https://www.academia.edu/32231809/BARBERETA\\_Estatistica\\_Aplicada\\_As\\_Ciencias\\_Sociais](https://www.academia.edu/32231809/BARBERETA_Estatistica_Aplicada_As_Ciencias_Sociais). Acesso 18 de fev de 2023.
  14. BARCELOS, Beatriz Rodrigues de. **Aproveitamento das águas atmosféricas – análise da característica hidráulica, qualidade da água e aspectos econômicos.** 2005. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade Católica de Brasília, Brasília, 2005. Disponível em: <https://repositorio.ucb.br:9443/jspui/handle/123456789/10585>. Acesso em: 5 nov. 2024.
  15. BERTHOLINI, Thargus Martins. **Desinfecção de água para consumo humano através do método Sódis: Estudo de caso em localidade rural do município de Cuiabá – MT.** Disponível em: <https://www.ib eas.org.br/congresso/Trabalhos2011/II-006.pdf>. Acesso em 18 de fev de 2024.
  16. BERTONI, J. O espaçamento dos terraços em culturas anuais, determinado em função das perdas por erosão. Bragantia, Campinas, v. 18, n. 10, p. 113-140, 1959.
  17. BOCK, Liriane Élen *et al.* **Reservatório de dupla finalidade para armazenamento com usos não potáveis e amortecimento de cheias.** In: XIV ENAU – ENCONTRO NACIONAL DE ÁGUAS URBANAS E IV SRRU – SIMPÓSIO DE REVITALIZAÇÃO DE RIOS URBANOS, 14., 2022, Brasília-Df. Anais [...]. Brasília: Abrh-Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2022. P. 1-10. Disponível em: <https://anais.abrhidro.org.br/job.php?Job=14304>. Acesso em: 28 jan. 2023.

18. BONIFÁCIO, Sávio Nunes. **A Percepção Dos Beneficiários Do P1mc Quanto À Utilização Das Cisternas De Água De Chuva No Semiárido Mineiro.** 2011. 140 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Escola de Engenharia da Ufmg, Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011. Disponível em: <https://www.smarh.eng.ufmg.br/defesas/745M.PDF>. Acesso em: 28 jan. 2023.
19. BRASIL (Estado). Lei Ordinária nº 18.102, de 18 de julho de 2013. Do Procedimento de Conversão de Multa Simples em Serviços de Preservação, Melhoria e Recuperação da Qualidade do Meio Ambiente. **Dispõe Sobre As Infrações Administrativas Ao Meio Ambiente e Respectivas Sanções, Institui O Processo Administrativo Para Sua Apuração no Âmbito Estadual e Dá Outras Providências.** Goiás, GO, 18 jul. 2013. Disponível em: <https://legisla.casacivil.go.gov.br/api/v2/pesquisa/legislacoes/90204/pdf>. Acesso em: 05 jan. 2023.
20. BRASIL. Congresso. Senado. Decreto nº 9.606, de 10 de dezembro de 2018. **Regulamenta o Programa Nacional de Apoio à Captação de Água de Chuva e Outras Tecnologias Sociais de Acesso à Água – Programa Cisternas.** Decreto Nº 9.606, de 10 de Dezembro de 2018. Brasília, DF, 11 dez. 2018. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2015-2018/decreto/d9606.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/decreto/d9606.htm). Acesso em: 01 jun. 2024.
21. BRASIL. Congresso. Senado. Lei Nº 11.445, De 5 De Janeiro De 2007 **Estabelece As Diretrizes Nacionais Para O Saneamento Básico; Cria O Comitê Interministerial de Saneamento Básico; Altera As Leis nos 6.766, de 19 de Dezembro de 1979, 8.666, de 21 de Junho de 1993, e 8.987, de 13 de Fevereiro de 1995; e Revoga A Lei Nº 6.528, de 11 de Maio de 1978.** Brasília, 05 jan. 2007. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2007/lei/111445.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/111445.htm). Acesso em: 13 maio 2023.
22. BRASIL. Congresso. Senado. Lei nº 12.873, de 24 de outubro de 2013. **Institui o Programa Nacional de Apoio à Captação de Água de Chuva e Outras Tecnologias Sociais de Acesso à Água – Programa Cisternas.** Lei Nº 12.873, de 24 de Outubro de 2013. Brasília, DF, 25 out. 2013. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2011-2014/lei/L12873.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2013/lei/L12873.htm). Acesso em: 01 jun. 2024.
23. BRASIL. Congresso. Senado. Lei nº 13.501, de 13 de outubro de 2017. **Altera o art. 2º da Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, para incluir o aproveitamento de águas pluviais como um de seus objetivos.** Lei Nº 13.501, de 30 de Outubro de 2017. Brasília, DF, 31 out. 2017. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2015-2018/2017/lei/L13501.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2017/lei/L13501.htm). Acesso em: 01 jun. 2024.
24. BRASIL. Fundação Nacional de Saúde. **Manual de Cloração de Água em Pequenas Comunidades Utilizando o Clorador Simplificado Desenvolvido pela Funasa / Fundação Nacional de Saúde.** – Brasília : Funasa, 2014. Disponível em: [https://www.funasa.gov.br/site/wpcontent/files\\_mf/manualdecloracaodeaguapequenascomunidades.pdf](https://www.funasa.gov.br/site/wpcontent/files_mf/manualdecloracaodeaguapequenascomunidades.pdf). Acesso em 25 de Jan de 2024.
25. BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde (ed.). **Caderno Didático/Técnico para Curso de Gestão de Manejo de Águas Pluviais em áreas rurais do Brasil.** Brasília: Coordenação de Comunicação Social, 2020. 31 p. Disponível em: <https://repositorio.funasa.gov.br/handle/123456789/498>. Acesso em: 25 jan. 2023.
26. BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. (org.). **Programa Nacional de Saneamento Rural.** Brasília-DF: Coordenação de Comunicação Social, 2019. 260p. Disponível em: [http://www.funasa.gov.br/biblioteca-eletronica/publicacoes/engenharia-de-saude-publica//asset\\_publisher/ZM23z1KP6s6q/content/programa-nacional-de-saneamento-rural-pnsr-?inheritRedirect=false](http://www.funasa.gov.br/biblioteca-eletronica/publicacoes/engenharia-de-saude-publica//asset_publisher/ZM23z1KP6s6q/content/programa-nacional-de-saneamento-rural-pnsr-?inheritRedirect=false). Acesso em: 25 jan. 2023.



27. BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. **Manual de Saneamento / Ministério da Saúde, Fundação Nacional de Saúde.** – 4. Ed. – Brasília : Funasa, 2015. 642 p. il. Disponível em: [file:///C:/Users/ferna/Downloads/Mnl\\_Saneamento.pdf](file:///C:/Users/ferna/Downloads/Mnl_Saneamento.pdf). Acesso em 05 de Ago de 2024.
28. BRASIL. Ministério da Saúde. **PORTARIA GM/MS Nº 888, DE 4 DE MAIO DE 2021.** Altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS nº 5, de 28 de setembro de 2017, para dispor sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Brasília, DF, 04 de Maio de 2021. Disponível em: [https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2021/prt0888\\_07\\_05\\_2021.html](https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2021/prt0888_07_05_2021.html). Acesso em: 05 de Ago de 2024.
29. BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. **Vigilância e controle da qualidade da água para consumo humano/ Ministério da Saúde, Secretaria de Vigilância em Saúde.** – Brasília : Ministério da Saúde, 2006. Disponível em: [https://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/vigilancia\\_controle\\_qualidade\\_agua.pdf](https://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/vigilancia_controle_qualidade_agua.pdf). Acesso em 18 de Fev de 2024.
30. CANDIOTTO, Luciano Zanetti Pessôa; GRISA, Felipe Fontoura; SCHIMITZ, Luiz Antonio. **Considerações Sobre A Experiência De Construção De Cisternas Em Unidades De Produção E Vida Familiares (Upvfs) Do Município De Francisco Beltrão** – PR/Considerations about cisterns construction's experience in 27egura life and production units (FLPU) of Fra. Revista Nera, [S.L.], n. 29, p. 174-193, 5 fev. 2016. Revista NERA. <http://dx.doi.org/10.47946/rnera.v0i29.3119>. Disponível em: <https://revista.fct.unesp.br/index.php/nera/article/view/3119>. Acesso em: 30 dez. 2023.
31. CARVALHO, Anésio Rodrigues. **Processo de complexação do ferro em águas subterrâneas–uma proposta de mudança da portaria 36 do Ministério da Saúde. Águas Subterrâneas,** 2004. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/23576>. Acesso em 12 de out de 2024.
32. CASSETTARI, Gabriel Americo; QUEIROZ, Tadeu Miranda de; MANVAILER, Ramão Humberto Martins. **Potencial de captação de água de chuva por telhados no assentamento dos produtores rurais Antônio João e Maria, município de Barra do Bugres/MT.** Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais, [S.L.], v. 8, n. 3, p. 46-51, 10 maio 2017. Companhia Brasileira de Producao Cientifica. <http://dx.doi.org/10.6008/spc2179-6858.2017.003.0005>. Acesso em 05 de mai de 2023.
33. CAVALLINI, Grasiele Soares; ARAUJO, Dayane Lira Barros da Silva; LIMA, Jordan Gabriel Freitas. **Desinfecção de água de poço por radiação solar (sodis): um estudo na região sul do Tocantins. Desafios** – Revista Interdisciplinar da Universidade Federal do Tocantins, v. 5, n. Especial, p. 66–73, 2018. Disponível em: <https://sistemas.uft.edu.br/periodicos/index.php/desafios/article/view/5665/14389>. Acesso em 18 de Fev de 2024.
34. CESSA-CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO DE SANEAMENTO E SAÚDE AMBIENTAL: SANEAMENTO BÁSICO RURAL (Goiânia). Universidade Federal de Goiás (org.). SanRural – **Saneamento e Saúde Ambiental Rural.** Goiânia: Cegraf Ufg, 2020. 234 p. Disponível em: <https://sanrural.ufg.br/>. Acesso em: 12 dez. 2023.
35. CODEVASF, Codevasf-Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba (ed.). **Cisternas instaladas pela Codevasf beneficiam 500 famílias em comunidades rurais do Maranhão.** 2020. Disponível em: <https://www.codevasf.gov.br/noticias/2020/cisternas-instaladas-pela-codevasf-beneficiam-500-familias-em-comunidades-rurais-do-maranhao>. Acesso em: 06 jan. 2024.
36. COLLISCHONN, Walter; DORNELLES, Fernando. **Hidrologia para engenharia e ciências ambientais.** Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, v. 1, p. 336, 2013.

37. DAKI SEMIÁIDO VIVO (org.). **Cisterna de placas que capta e armazena até 52 mil litros de água das chuvas para a produção de alimentos e criação de animais, garantindo segurança alimentar e nutricional.** 2021. Disponível em: [https://semiaridovivo.org/pt/tecnologia\\_social/cisterna-calcadao/](https://semiaridovivo.org/pt/tecnologia_social/cisterna-calcadao/). Acesso em: 14 abr. 2024.
38. DNIT – **Manual de pavimentação, Departamento Nacional de InfraEstrutura dos Transportes** – Ministério dos Transportes. Publicação IPR- 719. 3ª. Ed. Rio de Janeiro, 2005. Disponível em: [https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-manuais/vigentes/ipr\\_719\\_manual\\_de\\_pavimentacao\\_versao\\_corrigida\\_errata\\_1.pdf](https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-manuais/vigentes/ipr_719_manual_de_pavimentacao_versao_corrigida_errata_1.pdf) Acesso em 28 de agosto de 2024.
39. DNIT. **Conceitos Básicos de Hidrologia e Drenagem para Projetos Rodoviários** – Módulo 2. Instituto de Pesquisas em Transporte, 2022. Disponível em: <https://repositorio.enap.gov.br/bitstream/1/7814/2/M%C3%B3dulo%202022-0-%20Pluviometria.pdf>. Acesso em 28 de agosto de 2024.
40. DOMINGOS, Siméia *et al.* **Aplicação do DesviUFPE para descarte das primeiras águas de chuva viabilizando o uso para fins potáveis em residências populares no semiárido pernambucano.** Paranoá, Pernanbuco, v. 16, n. 34, p. 1-17, 22 dez. 2023. Disponível em: <https://www.periodicos.unb.br/index.php/paranoa/article/view/47516>. Acesso em: 01 maio 2024.
41. ECOSUSTENTÁVEL. **Equipamentos e Soluções ambientais.** Disponível em: <http://ecosustentavel.eng.br/>. Acesso em: 13 fev 2024
42. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Mapa Solos dos Brasil** 2023. Disponível em: <[http://geoinfo.cnps.embrapa.br/layers/geonode%3Abrasil\\_solos\\_5m\\_20201104](http://geoinfo.cnps.embrapa.br/layers/geonode%3Abrasil_solos_5m_20201104)>. Acesso em: 28 jan. 2023.
43. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **20 anos do saneamento rural na Embrapa Instrumentação: do básico ao ambiental.** São Carlos, 2021. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1138679/20-anos-do-saneamento-rural-na-embrapa-instrumentacao-do-basico-ao-ambiental>>. Acesso em 30 de mar. De 2022.
44. FRANÇA, F. M. C., de OLIVEIRA, J. B., ALVES, J., FONTENELE, F., & de FIGUEIREDO, A. Z. Q. (2010). **Cisterna de placas: construção, uso e conservação. Cartilhas temáticas tecnologias e práticas hidroambientais para convivência com o Semiárido**, v. 2. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/29532/1/Cartilha-vol-2-Cisterna-de-placas.pdf> . Acesso em 30 de Dez de 2023
45. FRANCHINI, T. **Estudo comparativo da eficiência entre trincheira de infiltração e trincheira de infiltração com uso de garrafa pet.** Campo Mourão, 2017. 44 f. Trabalho de Conclusão de Curso. (Bacharelado em Engenharia Civil) Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, 2017. Disponível em: <https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/6160>. Acesso em 30 de jun de 2023.
46. GHISI, E.; CORDOVA, M. M. **Netuno 4. Programa computacional.** Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Civil. Disponível em: <http://www.labeee.ufsc.br/>. 2014. Acesso em 05 de março de 2024.
47. GIRÃO, Enio Giuliano *et al* (ed.). **Tecnologias Sociais de Eco-habitação.** Fortaleza-Ce: Embrapa, 2019. 32 p. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1109190?mode=full>. Acesso em: 03 jan. 2024.
48. GNADLINGER, J. **Apresentação técnica de diferentes tipos de cisternas, construídas em comunidades rurais do semi-árido brasileiro.** In: Anais da 9ª Conferência Internacional sobre Sistemas de Captação de Água da Chuva. 1999. Disponível em:

- <https://www.irpaa.org/publicacoes/relatorios/9-conferencia-de-cisternas.pdf>. Acesso em 02 de março de 2024
49. GNADLINGER, J. **Técnica de diferentes tipos de cisternas, construídas em comunidades rurais do Semiárido brasileiro.** Juazeiro, BA: IRPAA, 2008. Disponível em: <https://docplayer.com.br/16218080-Apresentacao-tecnica-de-diferentes-tipos-de-cisternas-construidas-em-comunidades-rurais-do-semi-arido-brasileiro.html> Acesso em: 30 de Dez de 2023
50. GOIÁS. Semad-Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. Governo de Goiás (org.). Autocomposição Ambiental. 2024. Disponível em: <https://goias.gov.br/meioambiente/autocomposicao-ambiental/>. Acesso em: 23 jan. 2024.
51. GOMES, Layan Soares; MAIA, Adelena Gonçalves. **Avaliação da eficiência de cisternas utilizadas no P1MC frente a diferentes cenários de regime pluvial no Rio Grande do Norte.** In: XXII SBRH – SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 22., 2017, Florianópolis – Sc. Anais [...]. Florianópolis – Sc: Abrh-Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2017. P. 1-8. Disponível em: <https://anais.abrhidro.org.br/job.php?Job=3042>. Acesso em: 22 abr. 2023.
52. GONÇALVES, R. F. *et al.* (2006). **Uso racional da água em edificações.** Rio de Janeiro: ABES -PROSAB. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/303985016\\_Uso\\_racional\\_da\\_agua\\_nas\\_edificacoes](https://www.researchgate.net/publication/303985016_Uso_racional_da_agua_nas_edificacoes). Acesso em 02 de jun de 2024.
53. GUERRA, A. J. T.; GUERRA, A. T. **Novo dicionário Geológico-Geomorfológico.** 3<sup>a</sup> Ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003. 652p. Disponível em: <<http://www.sinageo.org.br/2014/trabalhos/6/6-558-1384.html#:~:text=Os%20dep%C3%B3sitos%20aluvionares%20s%C3%A3o%20detritos,GUERRA%3B%20GUERRA%2C%202003>> Acesso em 02 de março de 2023
54. HAGEMANN, Sabrina Elicker. **Avaliação da qualidade da água da chuva e da viabilidade de sua captação e uso.** 2009. 141 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia Civil, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria-Rs, 2009. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/7715/HAGEMANN%2C%20SABRINA%20ELICKER.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 14 abr. 2024.
55. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Cidades e Estados.** 2021. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/go/formosa.html>. Acesso em 03 de março de 2023
56. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Classificação e Caracterização dos espaços rurais e urbanos do Brasil. Uma primeira aproximação.** Rio de Janeiro 2017. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/tipologias-do-territorio/15790-classificacao-e-caracterizacao-dos-espacos-rurais-e-urbanos-do-brasil.html>. Acesso em 03 de março de 2023
57. INSTITUTO NACIONAL DE COLONIZAÇÃO E REFORMA AGRÁRIA (INCRA). **Inserção dos assentamentos rurais da Reforma Agrária em diferentes regiões agropecuárias no estado de Goiás-Brasil.** 2013. Disponível em: <http://observatoriogeograficoamericalatina.org.mx/egal15/Geografiasocioeconomica/Geografiaagraria/09.pdf>. Acesso em 12 de dez de 2024.
58. INSTITUTO NACIONAL DE COLONIZAÇÃO E REFORMA AGRÁRIA (INCRA). **Município de Formosa (GO) tem 50% dos assentados já titulados.** 2022. Disponível em: [https://www.gov.br/incra/pt-br/assuntos/noticias/29eguranca-de-formosa-go-tem-50-dos-assentados-ver-titulados#:~:text=O%20munic%C3%ADpio%20de%20Formosa%20\(GO,definitivos%20de%20posse%20da%20terra](https://www.gov.br/incra/pt-br/assuntos/noticias/29eguranca-de-formosa-go-tem-50-dos-assentados-ver-titulados#:~:text=O%20munic%C3%ADpio%20de%20Formosa%20(GO,definitivos%20de%20posse%20da%20terra). Acesso em 12 de dez de 2022.

59. IPEA. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Saneamento Rural No Brasil: **A Universalização é Possível?** Rio de Janeiro-RJ: Ipea, 2023. 68 p. Disponível em: [https://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/11979/1/TD\\_2875\\_web.pdf](https://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/11979/1/TD_2875_web.pdf). Acesso em: 15 de junho de 2023
60. KEARNS, J. **Five-Gallon Bucket Filter for Rooftop Harvested Rainwater. Aqueous Solutions**, p. 1-10, 2008. Disponível em: <https://www.aqsolutions.org/images/2008/05/bucket-filter.pdf>. Acesso em: 17 de Fev de 2024.
61. KOZERSKI, Carlos Eduardo; REGELMEIER, Fabio Alexandre. **Aproveitamento de água da chuva em zonas rurais: Captação e reservação**. In: XIX EXPOSIÇÃO DE EXPERIÊNCIAS MUNICIPAIS EM SANEAMENTO DE 24 A 29 DE MAIO DE 2015 – POÇOS DE CALDAS – MG, 45., 2015, Poços de Caldas-Mg. Anais [...]. Poços de Caldas-Mg: Assemae – Associação Nacional dos Serviços Municipais de Saneamento, 2015. P. 1-15. Disponível em: <https://trabalhosassemae.com.br/sistema/repositorio/2015/1/trabalhos/218/363/t363t5e1a2015.pdf>. Acesso em: 22 jun. 2022.
62. LABORATÓRIO HIDROSOLO AMBIENTAL LTDA-ME. Relatório de análise da qualidade da água da chuva. Formosa-GO, 2024.
63. LECCHI, Danielly de Oliveira. **Análise do emprego de técnicas compensatórias lineares em drenagem: estudo de caso na região da rodoviária do município de Aracruz/ES**. 2021. Disponível em: <https://repositorio.ifes.edu.br/handle/123456789/1707>. Acesso em 14 de abr de 2023.
64. LOMBARDI NETO, F.; BELLINAZZI JÚNIOR, R.; GALETI,P. A.; BERTOLINI, D.; LEPSCH, I. F.; OLIVEIRA, J.B. Nova abordagem para cálculo de espaçamento entre terraços. Simpósio sobre terraceamento agrícola. Campinas, 1989. Fundação Cargill. P. 99-124.
65. MACEDO, Jorge Antônio Barros de. **ÁGUAS & ÁGUAS**. 1. Ed. Juiz de Fora: ORTOFARMA, 2000. Disponível em: <https://www.bdpa.cnptia.embrapa.br/consulta/busca?b=ad&id=1034192&biblioteca=vazio&busca=autoria:%22MACEDO,%20J.%22&qFacets=autoria:%22MACEDO,%20J.%22&sort=&paginacao=t&paginaAtual=1> Acesso em 22 e janeiro de 2024.
66. MARENKO, José Antônio. Água e mudanças climáticas: **Estudos Avançados**. Portal de Revistas Usp, São Paulo, v. 22, n. 63, p. 83-96, 2008. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/eav/article/view/10294/11941>. Acesso em: 23 abr. 2023.
67. MASCARENHAS, F. C. B. e MIGUEZ, M. G. 2002. Urban flood control through a mathematical flow cell model. 2002, pp. Pg 208–218. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/233280782\\_Urban\\_Flood\\_Control\\_through\\_a\\_Mathematical\\_Cell\\_Model](https://www.researchgate.net/publication/233280782_Urban_Flood_Control_through_a_Mathematical_Cell_Model). Acesso em 02 de Jun de 2024.
68. MATA Lima, Herlander, Santos Silva, Evaristo, Raminhos Cristina . **Bacias de retenção para gestão do escoamento: métodos de dimensionamento e instalação**. Rem: Revista Escola de Minas [ver linea]. 2006, 59(1), 97-109. ISSN: 0370-4467. Disponível em: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=56416732013>. Acesso em 30 de jun de 2023.
69. MELO, T. A. T.; COUTINHO, A. P. ; SANTOS, J. B. F. ; CABRAL, J. J. S. P. ; ANTONINO, A. C. D. ; LASSABATERE, L. **Trincheira de infiltração como técnica compensatória no manejo das águas pluviais urbanas**. Ambiente Construído (Online), v. 16, p. 53-72, 2016.a. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ac/a/gghrq58K36hBFDyJ8zq5ZMv/abstract/?lang=pt>. Acesso em 03 de Jun de 2024
70. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. GEOLOGIA E RECURSOS MINERAIS DO ESTADO DE GOIÁS E DO DISTRITO. Secretaria de Minas e Metalurgia. **Programa de levantamentos geológicos básicos do Brasil. 2000**. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br/publique/Geologia/Geologia-Básica/Estado-de-Goias-399.html>> Acesso em 25 mar 2023.

71. MIOLA, Alessandro Carvalho. **Planejamento para comunidades rurais em situações de enchentes.** 2013. 216 f. Tese (Doutorado) – Curso de Engenharia Agrícola, Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria-RS, 2013. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/handle/1/3607>. Acesso em: 25 mar. 2023.
72. MWANG'OMBE, Agnes Wakesho *et al.* (2011), “**Livelihoods under climate variability and change: an analysis of the adaptive capacity of rural poor to water scarcity in Kenya's drylands**”. Journal of Environmental Science and Technology, 4 (4): 403-410. Disponível em: <https://scialert.net/fulltext/?doi=jest.2011.403.410>. Acesso em 08 de Maio de 2024.
73. NEU, V., GUEDES, V. M., da SILVA ARAÚJO, M. G., MEYER, L. F. F., BRITO, I. R., & BATISTA, L. M. **Água da chuva para consumo humano: estudo de caso na Amazônia Oriental.** Inclusão Social. Brasília, DF, v.12 n.1, p.183-198, 2018. Disponível em: <https://revista.ibict.br/inclusao/article/view/4403>. Acesso em 01 de jun de 2024.
74. NÓBREGA, Rodolfo; GALVÃO, Carlos; PALMIER, Luiz; CEBALLOS, Beatriz. **Aspectos Político-Institucionais do Aproveitamento de Água de Chuva em Áreas Rurais do Semiárido Brasileiro.** Revista Brasileira de Recursos Hídricos, [S.L.], v. 17, n. 4, p. 109-124, 2012. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.21168/rbrh.v17n4.p109-124>. Disponível em: <https://www.abrhidro.org.br/SGCv3/publicacao.php?PUB=1&ID=96&SUMARIO=1472>. Acesso em: 27 dez. 2023.
75. NORBERTO, Tamise Campos Bueno. Desafios do saneamento básico rural no cenário da reforma agrária. Revista Extraprensa, v. 15, n. Especial, p. 313–328, 2022. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/extraprensa/article/view/195444/184926>. Acesso em 24 de Abril de 2024.
76. OLIVEIRA, Alinne Prado de; BARBASSA, Ademir Paceli; GONÇALVES, Luciana Márcia. **Aplicação de Técnicas Compensatórias de Drenagem na requalificação de Áreas Verdes Urbanas em Guarulhos – SP.** Periódico Técnico e Científico Cidades Verdes, São Paulo, v. 4, n. 9, p. 1-15, 27 nov. 2016. ANAP – Associação Amigos de Natureza de Alta Paulista. Disponível em: <https://doi.org/10.17271/231786044920161385>. Acesso em: 28 jan. 2023.
77. OLIVEIRA, Milina De. **Filtros lentos domiciliares para tratamento de água da chuva para fins de consumo.** Mestrado em Hidráulica e Saneamento, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2021. Disponível em: <<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18138/tde-06082021-184244/>>. Acesso em: 14 jan. 2024.
78. OLIVEIRA, P. A. V. de *et al.* **Aproveitamento da Água da Chuva na Produção de Suínos e Aves.** Santa Catarina, 2012. Anais eletrônicos Disponível em:<<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/79687/1/Doc-157.pdf>> Acesso em 4 de mar de 2023.
79. PAULA, A.; HENRIQUE LINO, J. **Investigação da presença de coliformes em amostras de água no Município de Mandaguaçu, Paraná / Investigação da presença de coliformes em amostras de água de Mandaguaçu, Paraná.** Revista Brasileira de Revisão de Saúde, [S. l.], v. 6, pág. 25216–25224, 2021. DOI: 10.34119/bjhrv4n6-130. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BJHR/article/view/39664>. Acesso em: 13 out. 2024.
80. PEITER, G., MALUF, R. S., & ROSA, T. D. S. (2011). **Mudanças climáticas, vulnerabilidade e adaptação: parte 1, mobilização e iniciativas de adaptação: parte 2, populações vulneráveis e agenda pública no Brasil.** Disponível em: [arca.fiocruz.br](http://arca.fiocruz.br). Acesso em 08 de maio de 2024.
81. PEREIRA NETO, Santiago. **Estudo da potabilidade da água da chuva após processos de filtração e desinfecção.** 2015. 33 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2015. Disponível em: <https://riut.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/6952>. Acesso em: 13 de Jan de 2024.

82. PEREIRA, Miguel Joffer de Oliveira. Estudo de implantação de Bacias de Detenção para mitigação dos efeitos de inundação em Nova Friburgo. Rio de Janeiro: UFRJ/Escola Politécnica, 2018. <http://repositorio.poli.ufrj.br/monografias/monopolio10026051.pdf>. Acesso em 13 de abril de 2023.
83. PIRES, Fábio R.; SOUZA, CM de. **Práticas mecânicas de conservação do solo e da água.** Viçosa: UFV, 2003. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/32302/1/DISSERTA%c3%87%c3%83O%20Paulo%20Henrique%20Lopes%20Bezerra.pdf>. Acesso em 02 de Jun de 2024.
84. PLUVIA. **Sistemas de Captação e Aproveitamento da Água da Chuva. Soluções em Captação de Água de Chuva.** Disponível em: <https://www.pluvia.com.br/captacao-de-agua-de-chuva/filtro-rainus-p68>. Acesso em: 14 de fev. de 2024.
85. QUEIROZ, Daniel Pessanha De *et al.* **Tipos de cisternas utilizadas para o armazenamento da água na região do semiárido.** Anais II CONIDIS... Campina Grande: Realize Editora, 2017. Disponível em: <<https://editorarealize.com.br/artigo/visualizar/33890>>. Acesso em: 14 de abril de 2024.
86. RAMOS, Mariana Magela. **A Avaliação da implantação de técnicas de conservação e recuperação de nascentes e áreas degradadas: Estudo de caso na comunidade rural de Padre Trindade, no município de Formiga – MG.** 2017. 63 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, Centro Universitário de Formiga – Unifor-Mg, Formiga-Mg, 2017. Disponível em: <https://repositorioinstitucional.uniformg.edu.br:21015/xmlui/handle/123456789/564>. Acesso em: 03 jun. 2023.
87. SANT'ANA, Daniel Richard. **Rainwater harvesting in Brazil: Investigating the viability of 3segurança harvesting for a household in Brasília.** In: G. Broadbent; C. A. Brebbia. (Org.). Eco-Architecture: Harmonization between architecture and nature. 1ed. Southampton: WIT Press, 2006, v. 86, p. 381-390. Disponível em: [https://www.academia.edu/7398973/Rainwater\\_harvesting\\_in\\_Brazil\\_investigating\\_the\\_viability\\_of\\_rainwater\\_harvesting\\_for\\_a\\_household\\_in\\_Bras%C3%ADlia](https://www.academia.edu/7398973/Rainwater_harvesting_in_Brazil_investigating_the_viability_of_rainwater_harvesting_for_a_household_in_Bras%C3%ADlia). Acesso em 01 de jun de 2024.
88. SANT'ANA, Daniel Richard. **Reúso-DF: viabilidade técnica e operacional do aproveitamento de águas pluviais e do reúso de águas cinzas em edificações não-residenciais do distrito federal. Relatório Técnico 5/2017.** 5. Ed. Brasília-DF: Universidade de Brasília, 2017. 77 p. Disponível em: [https://drive.google.com/file/d/1BeoK5ib7S\\_XZ0tGBp9DXBN8YQ0ptXa-z/view](https://drive.google.com/file/d/1BeoK5ib7S_XZ0tGBp9DXBN8YQ0ptXa-z/view). Acesso em: 12 jul. 2023.  
Santa Catarina, Departamento de Engenharia Civil. Disponível em: <http://www.labeee.ufsc.br/>. 2014.
89. SANTOS, E.P.C.C. (2004). **Coagulação da água da represa Vargem das Flores visando tratamento por filtração direta.** Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Minas Gerais, 167p. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/ENGD-67BMDK>. Acesso em: 14 de Fev. de 2024.
90. SEMPRE SUSTENTÁVEL. **Projeto experimental do separador de águas de chuva de baixo custo.** 2014. Disponível em: <https://www.sempresustentavel.com.br/>. Acesso em 22 de Julho de 2024.
91. SGB- Serviço Geológico do Brasil. **Base de dados.** Disponível em: <https://geoportal.sgb.gov.br/geosgb/>. Acesso em 23 de maio de 2023.
92. SILVA, Anne Rosse e. **CISTERNAS PARA ABASTECIMENTO HUMANO DE ÁGUA E FATORES INTERVENIENTES DO SEU USO E FUNCIONAMENTO: UM ESTUDO NO SEMIÁRIDO BAIANO.** 2017. 187 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Meio

Ambiente, Águas e Saneamento, Mestrado em Meio Ambiente, Águas e Saneamento, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2017. Disponível em: [https://maasa.ufba.br/sites/maasa.ufba.br/files/47\\_cisternas\\_para\\_abastecimento\\_humano\\_de\\_agua\\_e\\_fatores\\_intervenientes\\_do\\_seu\\_uso\\_e\\_funcionamento\\_um\\_estudo\\_no\\_semiari\\_do\\_baiano.pdf](https://maasa.ufba.br/sites/maasa.ufba.br/files/47_cisternas_para_abastecimento_humano_de_agua_e_fatores_intervenientes_do_seu_uso_e_funcionamento_um_estudo_no_semiari_do_baiano.pdf). Acesso em: 14 abr. 2024.

93. SILVA, C.V.da. **Qualidade da água de chuva para consumo humano armazenada em cisternas de placa. Estudo de caso: Araçuaí, MG.** 2006. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais – MG, 2006. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/ENGD-6SWQL5>. Acesso em 01 de jun de 2024.
94. SILVA, Priscilla Regina da *et al.* **Análise de tecnologias de captação e armazenamento de água da chuva no assentamento Oziel Alves III.** In: XV SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 15., 2020, Caruaru-Pe. Anais [...] . Caruaru-Pe: Abrh-Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2020. P. 1-12. Disponível em: <https://anais.abrhidro.org.br/job.php?Job=6979>. Acesso em: 28 jul. 2023.
95. SISTEMA ESTADUAL DE GEOINFORMAÇÃO (SIEG). **SIEG mapas.** 2023. Disponível em:< <http://www.sieg.go.gov.br/siegdownloads/>> Acesso em 28 de fevereiro de 2023.
96. SOUSA, Gisele Aparecida Maia; GASPAR, Geisla Aparecida Maia Gomes. **Projeto de aproveitamento de água da chuva para irrigação de lavoura de café.** Fepesmig, [s. l], p. 1-21, 06 nov. 2020. Disponível em: <http://repositorio.unis.edu.br/handle/prefix/1401>. Acesso em: 24 maio 2023.
97. SOUZA, Lara Line Pereira de. Escola Nacional de Administração Pública. **Câmara Temática De Saneamento Rural – Instrumento De Caráter Articulador E Consultivo Em Busca Da Universalização De Acesso Ao Saneamento Básico Nas Áreas Rurais Do Distrito Federal.** 2020. 47 f. TCC (Graduação) – Curso de Gestão de Políticas Agropecuárias, Enap, Escola Nacional de Administração Pública, Brasília, 2020. Disponível em: <https://repositorio.enap.gov.br/bitstream/1/6176/1/TCC%20-%20Projeto%20de%20Interven%C3%A7%C3%A3o%20.pdf>. Acesso em: 08 maio 2024.
98. SOUZA, Vitória Lammel Blauth Alves de. A LEGISLAÇÃO AMBIENTAL E AS OPORTUNIDADES DE APOIO A PROJETOS SOCIOAMBIENTAIS. 2020. 27 f. TCC (Graduação) – Curso de Ciências Biológicas, Instituto de Biociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2020. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/239160>. Acesso em: 28 dez. 2023.
99. TASSI, Rutinéia. **Efeito dos microrreservatórios de lote sobre a macrodrenagem urbana.** 2002. 156 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia de Recursos Hídricos, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/1818>. Acesso em: 22 ago. 2023.
100. TAVARES, G. **Desenvolvimento experimental de “Filtro de Água Agroecológico” para comunidades carentes: projeto de extensão universitária inovadora.** 2017. Apresentação de slide. Universidade Federal de Lavras-UFLA. Departamento de Engenharia-DEG. Lavras. Disponível em: <http://repositorio.ufla.br/jspui/handle/1/15217>. Acesso em 05 de Ago de 2024.
101. TEIXEIRA, T.; TEIXEIRA, A.; FERRAZ, L.; VIEIRA, D. **Unidades Geoambientais e uso do solo no município de Formosa-GO.** Ver. Geogr. Acadêmica v.13, n.2 (2019) Universidade Estadual da Goiás, 2019. Disponível < <https://revista.ufrr.br/rga/article/view/5715/2745>> Acesso em 02 de março de 2023.
102. TUCCI, C. E. M. **Gestão de Águas Pluviais Urbanas.** Vol. 4. Brasília: Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental do Ministério das Cidades, 2005. Disponível em: [https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/285/o/Gest%C3%A3o\\_de\\_Aguas\\_Pluviais\\_PDF?1370615799](https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/285/o/Gest%C3%A3o_de_Aguas_Pluviais_PDF?1370615799). Acesso em 27 de setembro de 2023



103. TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. 3<sup>a</sup> ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2007.
104. VIEIRA, Mariana Esteves; SIQUEIRA, Cristiano Sousa Benício. **Estudo de caso: Captação de águas da chuva, e o aumento da disponibilidade, visando o desenvolvimento e a cidadania no meio rural**. Revista Científica Semana Acadêmica, Fortaleza, v. 01, p. 1-23, 15 jun. 2016. Disponível em: <https://semanaacademica.org.br/artigo/estudo-de-caso-captacao-de-aguas-da-chuva-e-o-aumento-da-disponibilidade-visando-o>. Acesso em: 09 nov. 2022.



## 8. APENDICE A

### 8.1 ENTREVISTA INDIVIDUAL COM OS MORADORES DO ASSENTAMENTO RURAL BARRA VERDE-FORMOSA-GO

Nome completo:

Assentamento/ Parcela:

Telefone:

**1) Há quanto tempo mora no assentamento? Possui outra moradia/residência além do assentamento?**

**2) Quantas pessoas moram na residência?**

1 ( ) 2( ) 3 ( ) 4( ) acima de 4( ) \_\_\_\_\_

**3) Qual a área da sua construção residencial? Foi feita pelo programa “Minha casa minha vida”? Houve algum tipo de reforma? (se aumentou a área externa)**

**4) Qual o tipo de telhado?**

( ) barro, ( ) amianto ( ) cerâmica ( ) fibrocimento ( ) Outros ( )

**5) Quais as atividades de subsistência?**

Cria Gado: sim ( ) Não ( ) quantos \_\_\_\_\_

Porco: sim ( ) Não ( ) quantos \_\_\_\_\_

Galinhas: sim ( ) Não ( ) quantos \_\_\_\_\_

Outros: \_\_\_\_\_

**6) Possui alguma lavoura? Sim ( ) Não ( ) Qual o tipo de plantio na propriedade? (Mandioca, milho, feijão de corda, Hortaliças, outros)?**

Quintal pomar? Sim ( ) Não ( )

Vegetação nativa? Sim ( ) Não ( )

Área de pastagem? Sim ( ) Não ( )

**7) Quais as fontes de água na sua parcela?**

Poço Tubular Profundo? ( ) Qual a profundidade? \_\_\_\_\_ foi perfurado pelo próprio morador ou empresa contratada? Qual a vazão do poço tubular profundo (sempre tem disponibilidade de água)?



Carro Pipa ( ) Cisterna ( ) Açude ( ) Sistema de saneamento ( ) Curso d'água ( ) Outros \_\_\_\_\_

Qual a qualidade da água?

Potável ( ) Salobra ( ) Impróprio para consumo ( ) Outros \_\_\_\_\_

Possuem barragem na propriedade? Sim ( ) Não ( )

**8) Quais as Demandas hídricas na sua residência/parcela?**

Consumo humano Sim ( ) Não ( )

Dessedentação de animais? Sim ( ) Não ( )

Uso doméstico (lavar louças, casa, descarga, banho)? Sim ( ) Não ( )

É necessário comprar água? (para beber ou cozinhar)? Sim ( ) Não ( )

**9) Na sua opinião quais os principais problemas enfrentados no assentamento em relação às águas pluviais?**

**10) Fonte de renda**

Qual a renda familiar mensal?

Até 1 salário mínimo ( )

Até 2 salários mínimos ( )

Até 3 salários mínimos ( )

Acima de 3 salários mínimos ( )

**11) Quantas pessoas contribuem com a renda familiar? \_\_\_\_\_**

A renda é proveniente do assentamento? Sim ( ) Não ( )

Existem outras fontes de renda? Sim ( ) Não ( )

A família recebe algum auxílio do governo ou participa de algum programa social? Sim ( )  
Não ( )

**12) Qual o nível de escolaridade?**

Sem Escolaridade ( )

Ensino Fundamental (1º Grau) Incompleto ( )

Ensino Fundamental (1º Grau) Completo ( )

Ensino Médio (2º Grau) Incompleto ( )

Ensino Médio (2º Grau) Completo ( )



Superior Incompleto ( )

Superior Completo ( )

Mestrado Ou Doutorado ( )

Não Sei Informar ( )

## 8.2 ENSAIO DE PERCOLAÇÃO

**Tabela 4-** Dados Cavas 1

<b>Dados Cavas 1</b>				
Leitura	Cota de abaixamento da água (m)	Intervalo de medição (min)	Taxa de percolação (min/m)	Taxa de percolação média (min/m)
1 <sup>a</sup>	0,030	30	1000,00	
2 <sup>a</sup>	0,025	30	1200,00	
3 <sup>a</sup>	0,020	30	1500,00	
4 <sup>a</sup>	0,020	30	1500,00	1450,00
5 <sup>a</sup>	0,015	30	2000,00	
6 <sup>a</sup>	0,020	30	1500,00	

Fonte: Do Autor

**Tabela 5: Dados Cava 2**

<b>Dados Cava 2</b>				
Leitura	Cota de abaixamento da água (m)	Intervalo de medição (min)	Taxa de percolação (min/m)	Taxa de percolação média (min/m)
1 <sup>a</sup>	0,050	30	600,00	
2 <sup>a</sup>	0,040	30	750,00	
3 <sup>a</sup>	0,040	30	750,00	
4 <sup>a</sup>	0,020	30	1500,00	1183,33
5 <sup>a</sup>	0,015	30	2000,00	
6 <sup>a</sup>	0,020	30	1500,00	

Fonte: Do Autor

**Tabela 6: Dados Cava 3**


**Tabela x: Dados Cava 3**

Leitura	Cota de abaixamento da água (m)	Intervalo de medição (min)	Taxa de percolação (min/m)	Taxa de percolação média (min/m)
1 <sup>a</sup>	0,040	30	750,00	
2 <sup>a</sup>	0,035	30	857,14	
3 <sup>a</sup>	0,030	30	1000,00	
4 <sup>a</sup>	0,030	30	1000,00	1101,19
5 <sup>a</sup>	0,020	30	1500,00	
6 <sup>a</sup>	0,020	30	1500,00	

Fonte: Do Autor

**Tabela 7: Dados Cava 4**

Dados Cava 4				
Leitura	Cota de abaixamento da água (m)	Intervalo de medição (min)	Taxa de percolação (min/m)	Taxa de percolação média (min/m)
1 <sup>a</sup>	0,030	30	1000,00	
2 <sup>a</sup>	0,020	30	1500,00	
3 <sup>a</sup>	0,015	30	2000,00	
4 <sup>a</sup>	0,015	30	2000,00	1666,67
5 <sup>a</sup>	0,020	30	1500,00	
6 <sup>a</sup>	0,015	30	2000,00	

Fonte: Do Autor

**Tabela 8: Dados Cava 5**

Dados Cava 5				
Leitura	Cota de abaixamento da água (m)	Intervalo de medição (min)	Taxa de percolação (min/m)	Taxa de percolação média (min/m)
1 <sup>a</sup>	0,045	30	666,67	
2 <sup>a</sup>	0,035	30	857,14	
3 <sup>a</sup>	0,030	30	1000,00	
4 <sup>a</sup>	0,030	30	1000,00	1087,30



5 <sup>a</sup>	0,020	30	1500,00
6 <sup>a</sup>	0,020	30	1500,00

Fonte: Do Autor

**Tabela 9: Dados Cava 6**

**Tabela x: Dados Cava 6**

Leitura	Cota de abaixamento da água (m)	Intervalo de medição (min)	Taxa de percolação (min/m)	Taxa de percolação média (min/m)
1 <sup>a</sup>	0,030	30	1000,00	
2 <sup>a</sup>	0,030	30	1000,00	
3 <sup>a</sup>	0,020	30	1500,00	
4 <sup>a</sup>	0,015	30	2000,00	1750,00
5 <sup>a</sup>	0,015	30	2000,00	
6 <sup>a</sup>	0,010	30	3000,00	

Fonte: Do Autor

**Tabela 14: Composição do solo e faixa do coeficiente de infiltração**

Composição do solo e faixa do coeficiente de infiltração

Tipos de solo	Taxa máxima de aplicação diária (L/m <sup>2</sup> .dia)	Absorção relativa
Areia com maior predominância no solo, variando a areia grossa com cascalho e silte argiloso.	Maior que 90	Rápida
Areia fina ou silte argiloso ou solo arenoso com húmus e turfas variando a solo constituído predominantemente de areia e silte.	60 a 90	Média
Argila arenosa e/ou siltosa, variando a areia argilosa ou silte argiloso de cor amarela, vermelha ou marrom.	40 a 60	Vagarosa



Argila de <u>cor amarela</u> , vermelha ou marrom medianamente compacta, variando a argila pouco siltosa e/ou arenosa.	20 a 40	Semi-impermeável
Rocha, argila compacta de cor branca, cinza ou preta, variando a rocha alterada e argila medianamente compacta de cor avermelhada.	Menor que 20	Impermeável

Fonte: NBR13969/97

### 8.3 BARRAGINHA

Quadro 4 – Grupamento de solos segundo suas qualidades, características e resistência à erosão (LOMBARDI NETO *et al.*, 1989).

Grupo	Grupo de Resistência à erosão	Profundidade	Permeabilidade	Principais Características	Textura	Razão Textural (1)	Grandes Grupos de Solos <sup>(4)</sup>	Índice K
A	alto	muito profundo (>2m) ou profundo (1 a 2m)	rápida/rápida moderada/rápida	média/média muito argilosa/muito argilosa argilosa/argilosa		< 1,2	LR, LE, LV, LVr, Lvt, LH, Lea, e Lva	1,25
B	moderado	profundo (1 a 2m)	rápida/rápida rápida/moderada moderada/moderada	arenosa/arenosa arenosa/média arenosa/argilosa média/argilosa argilosa/muito argilosa		1,2 a 1,5	LJ, LVP, PV, PVL, Pln, TE, PVls, R_RPV, RLV, Lea <sup>(3)</sup> , e Lva <sup>(3)</sup>	1,1
C	baixo	profundo (1 a 2m) moderadamente profundo (0,5 a 1,0 m)	lenta/rápida lenta/moderada rápida/moderada	arenosa/média <sup>(2)</sup> média/argilosa <sup>(2)</sup> arenosa/argilosa arenosa/muito argilosa		> 1,5	Pml, PVp, PVls, Pc e M	0,9
D	muito baixo	Moderadamente profundo (0,5 a 1,0m) ou raso (0,25 a 0,50m)	rápida, moderada ou lenta sobre lenta	muito variável	muito variável		Li-b, Li-ag, gr, Li-fi, Li-ac e PVp (ratos)	0,75



Fonte: Lombardi Neto *et al.* (1989)

**Quadro 5 – Grupo Hidrológico D**

**Grupo Hidrológico D**

- Solos com taxa de infiltração muito baixa oferecendo pouquíssima resistência e tolerância à erosão;
- Solos rasos (prof. < 50 cm);
- Solos pouco profundos associados à mudança textural abrupta ou solos profundos apresentando mudança textural abrupta aliada à argila de alta atividade (Ta), minerais de argila 2:1;
- Solos argilosos associados à argila de atividade alta (Ta);
- Solos orgânicos.

Enquadra-se neste grupo:

NEOSSOLO LITÓLICO; ORGANOSSOLO; GLEISSOLO; CHERNOSSOLO; PLANOSOLO; VERTISSOLO; ALISSOLO; LUVISSOLO; PLINTOSSOLO; SOLOS DE MANGUE; AFLORAMENTOS DE ROCHA; Demais CAMBISSOLOS que não se enquadram no Grupo C; ARGISSOLO VERMELHO AMARELO e ARGISSOLO AMARELO, ambos pouco profundos e associados à mudança textural abrupta.

Fonte: Sartori, 2004.

## 8.4 HIDROGRAMA

- **Método de Huff**

Quadro 6- Precipitação acumulada no passo de tempo e variação da precipitação

%Tempo (t/td)	1º Quartil (P/Pt)	t (h)	P (mm)	ΔP (mm)
0	0	0	0	0,00
0,05	0,16	0,22	12,42	12,42
0,1	0,33	0,43	25,61	13,19
0,15	0,43	0,65	33,37	7,76
0,2	0,52	0,87	40,36	6,99
0,25	0,6	1,08	46,57	6,21
0,3	0,66	1,30	51,23	4,66
0,35	0,71	1,52	55,11	3,88
0,4	0,75	1,73	58,21	3,10
0,45	0,79	1,95	61,32	3,10
0,5	0,82	2,17	63,64	2,33
0,55	0,84	2,38	65,20	1,55
0,6	0,86	2,60	66,75	1,55
0,65	0,88	2,81	68,30	1,55
0,7	0,9	3,03	69,85	1,55
0,75	0,92	3,25	71,41	1,55
0,8	0,94	3,46	72,96	1,55



0,85	0,96	3,68	74,51	1,55
0,9	0,97	3,90	75,29	0,78
0,95	0,98	4,11	76,06	0,78
1	1	4,33	77,61	1,55
				77,61

- **CN-Curver Number**

Tabela 11.2. Valores do parâmetro CN para bacias rurais

Uso do solo	Superfície	A	B	C	D
Solo lavrado	com sulcos retilíneos	77	86	91	94
Plantações regulares	em fileiras retas	70	80	87	90
	em curvas de nível	67	77	83	87
	terraceado em nível	64	76	84	88
Plantações de cereais	Em fileiras retas	64	76	84	88
	Em curvas de nível	62	74	82	85
	terraceado em nível	60	71	79	82
Plantações de legumes ou cultivados	Em fileiras retas	62	75	83	87
	Em curvas de nível	60	72	81	84
	Terraceado em nível	57	70	78	89
	Pobres	68	79	86	89
	Normais	49	69	79	94
Pastagens	Boas	39	61	74	80
	Pobres, em curvas de nível	47	67	81	88
	Normais, em curvas de nível	25	59	75	83
Campos permanentes	Boas, em curvas de nível	6	35	70	79
	Normais	30	58	71	78
	Esparsas, de baixa transpiração	45	66	77	83
	Normais	36	60	73	79
Chácaras Estradas de terra	Densas, de alta transpiração	25	55	70	77
	Normais	56	75	86	91
	Máis de superfície dura	72	82	87	89
Florestas	74	84	90	92	
	muito esparsas, baixa transpiração	56	75	86	91
	esparsas	46	68	78	84
	densas, alta transpiração	26	52	62	69
	normais	36	60	70	76

Quadro 8- Precipitação acumulada e Precipitação excedente acumulada

t (h)	ΔP (mm)	P acum (mm)	P exced= P efetiva (mm)	Histograma exced (mm)	Blocos	Tp'(h)	Tb'(h)	Qp' (m³/s)
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0,0000
0,22	12,42	12,42	0,00	0,00	1	3,10	7,93	0,0000
0,43	13,19	25,61	0,00	0,00	2	3,32	8,14	0,0000
0,65	7,76	33,37	0,00	0,00	3	3,54	8,36	0,0000
0,87	6,99	40,36	0,24	0,24	4	3,75	8,58	0,0030
1,08	6,21	46,57	0,89	0,65	5	3,97	8,79	0,0082
1,30	4,66	51,23	1,61	0,73	6	4,19	9,01	0,0092

1,52	3,88	55,11	2,37	0,75	7	4,40	9,23	0,0095
1,73	3,10	58,21	3,06	0,69	8	4,62	9,44	0,0088
1,95	3,10	61,32	3,83	0,77	9	4,84	9,66	0,0097
2,17	2,33	63,64	4,45	0,62	10	5,05	9,88	0,0079
2,38	1,55	65,20	4,89	0,44	11	5,27	10,09	0,0056
2,60	1,55	66,75	5,35	0,46	12	5,49	10,31	0,0058
2,81	1,55	68,30	5,82	0,47	13	5,70	10,53	0,0060
3,03	1,55	69,85	6,31	0,49	14	5,92	10,74	0,0062
3,25	1,55	71,41	6,81	0,50	15	6,14	10,96	0,0064
3,46	1,55	72,96	7,33	0,52	16	6,35	11,18	0,0066
3,68	1,55	74,51	7,87	0,54	17	6,57	11,39	0,0068
3,90	0,78	75,29	8,14	0,27	18	6,79	11,61	0,0035
4,11	0,78	76,06	8,42	0,28	19	7,00	11,82	0,0035
4,33	1,55	77,61	8,98	0,56	20	7,22	12,04	0,0072

Fonte: Autora



Quadro 9-Superposição dos blocos de chuva para identificação da vazão ascendente e descendente, o destaque em verde mostra o ponto de pico de cada bloco de chuva.

Fonte: Do Autor



HIDROGRAMA DE PROJETO – SCS		
Tempo (h)	Hidrograma sem dispositivos de infiltração (m³/s)	Hidrograma com dispositivos de infiltração nas estradas (m³/s)
0,0	0,00	0,00
0,2	0,00	0,00
0,4	0,00	0,00
0,6	0,01	0,00
0,9	0,02	0,00
1,1	0,04	0,00
1,3	0,06	0,00
1,5	0,09	0,00
1,7	0,12	0,00
1,9	0,15	0,01
2,2	0,19	0,01
2,4	0,22	0,02
2,6	0,26	0,02
2,8	0,30	0,03
3,0	0,34	0,03
3,2	0,38	0,04
3,5	0,42	0,04
3,7	0,45	0,05
3,9	0,47	0,06
4,1	0,48	0,06
4,3	0,49	0,07
4,5	0,49	0,08
4,8	0,49	0,08
5,0	0,48	0,08
5,2	0,47	0,08
5,4	0,46	0,09
5,6	0,45	0,09
5,8	0,43	0,09
6,1	0,41	0,09
6,3	0,39	0,08
6,5	0,37	0,08
6,7	0,35	0,08
6,9	0,32	0,08
7,1	0,30	0,07
7,4	0,27	0,07
7,6	0,24	0,06
7,8	0,21	0,06
8,0	0,18	0,05



8,2	0,15	0,05
8,4	0,13	0,04
8,7	0,11	0,04
8,9	0,09	0,03
9,1	0,08	0,03
9,3	0,06	0,02
9,5	0,05	0,02
9,7	0,04	0,02
10,0	0,03	0,01
10,2	0,03	0,01
10,4	0,02	0,01
10,6	0,02	0,01
10,8	0,01	0,00
11,0	0,01	0,00
11,3	0,01	0,00
11,5	0,00	0,00
11,7	0,00	0,00
11,9	0,00	0,00
12,1	0,00	0,00
12,3	0,00	0,00
12,6	0,00	0,00