

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
CAMPUS DO SERTÃO
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

ADRIANO DOS SANTOS VIEIRA

**DIMENSIONAMENTO DE RESERVATÓRIO PARA APROVEITAMENTO DE ÁGUAS
PLUVIAIS EM EDIFICAÇÕES: UMA ANÁLISE COMPARATIVA UTILIZANDO
DADOS DE PLUVIÔMETRO E TRMM**

Delmiro Gouveia – AL

2024

ADRIANO DOS SANTOS VIEIRA

**DIMENSIONAMENTO DE RESERVATÓRIO PARA APROVEITAMENTO DE ÁGUAS
PLUVIAIS EM EDIFICAÇÕES: UMA ANÁLISE COMPARATIVA UTILIZANDO
DADOS DE PLUVIÔMETRO E TRMM**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Colegiado do Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Alagoas – Campus do Sertão, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Thiago Alberto da Silva Pereira

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca do Campus Sertão
Sede Delmiro Gouveia

Bibliotecária responsável: Renata Oliveira de Souza CRB-4 2209

V657d Vieira, Adriano dos Santos

Dimensionamento de reservatório para aproveitamento de águas pluviais em edificações: uma análise comparativa utilizando dados de pluviômetro e TRMM / Adriano dos Santos Vieira. – 2024.

69 f. : il.

Orientação: Thiago Alberto da Silva Pereira.

Monografia (Engenharia Civil) – Universidade Federal de Alagoas.
Curso de Engenharia Civil. Delmiro Gouveia, 2024.

1. Engenharia Civil. 2. Recursos hídricos. 3. Aproveitamento de água.
4. Águas pluviais. 5. Pluviômetros. 6. *Tropical Rainfall Measuring Mission* - TRMM. I. Pereira, Thiago Alberto da Silva, orient. II. Título.

CDU: 626

FOLHA DE APROVAÇÃO

ADRIANO DOS SANTOS VIEIRA

DIMENSIONAMENTO DE RESERVATÓRIO PARA APROVEITAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS EM EDIFICAÇÕES: UMA ANÁLISE COMPARATIVA UTILIZANDO DADOS DE PLUVIÔMETRO E TRMM

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao corpo docente do Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Alagoas – Campus do Sertão e aprovado em 28 de novembro de 2024.

Banca Examinadora:

Documento assinado digitalmente
 THIAGO ALBERTO DA SILVA PEREIRA
Data: 28/11/2024 20:06:05-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Thiago Alberto da Silva Pereira, UFAL – Campus Arapiraca
(Orientador)

Documento assinado digitalmente
 ODAIR BARBOSA DE MORAES
Data: 28/11/2024 21:13:50-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Odair Barbosa de Moraes, UFAL – Campus Sertão
(Avaliador)

Documento assinado digitalmente
 RAFAEL SANTOS CARVALHO
Data: 29/11/2024 15:01:12-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Me. Rafael Santos Carvalho, UFAL – Campus Sertão
(Avaliador)

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha família pelo apoio, incentivo, carinho e amor dedicados em todos esses anos.

Ao professor Thiago, pela compreensão e paciência durante a elaboração deste trabalho.

Aos membros da banca examinadora, por aceitarem o convite.

Aos professores e colegas do curso de graduação e a todos aqueles que direta ou indiretamente colaboraram com o desenvolvimento deste trabalho e também com a minha formação.

Um agradecimento especial ao grupo PET Engenharias, por ser fundamental no meu desenvolvimento acadêmico e pessoal.

Enfim, agradeço a todos que de alguma forma contribuíram para meu aprendizado.

Aos meus pais e meu irmão.

RESUMO

O aproveitamento da água de chuva para fins não potáveis tem se tornado cada vez mais presente em regiões com baixa disponibilidade hídrica. Essa água é armazenada em reservatórios, cujo volume é dimensionado de modo a evitar gastos desnecessários. Uma das variáveis chave no cálculo do volume dos reservatórios é o índice pluviométrico da região, que nem sempre está disponível com qualidade devido às limitações dos métodos tradicionais de coleta. Os satélites surgiram como uma alternativa para a coleta de dados de chuva, por abrangerem uma grande área e ter funcionamento contínuo ao longo do tempo. Nesse contexto, o presente trabalho busca analisar o comportamento do dimensionamento de reservatórios para aproveitamento de águas pluviais em edificações utilizando dados do satélite *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM) e dados de pluviômetros no período entre 1998 e 2018. Em particular, busca-se coletar e analisar os dados pluviométricos no período entre 1998 e 2018, comparar os volumes dos reservatórios dimensionados e analisar quais variáveis geram maiores impactos no dimensionamento dos reservatórios. Para isso, foram utilizadas informações, como o consumo e área de captação, de três edificações da cidade de Delmiro Gouveia – AL, além dos dados de pluviômetros coletados na plataforma HidroWeb e dados do TRMM, em específico o produto 3B42-V7. Essas informações foram utilizadas no Método da Simulação para o dimensionamento do volume dos reservatórios. Verificou-se que os dados do satélite tendem a subestimar o total de precipitação para o período analisado. Além disso, o TRMM apresenta uma tendência de superestimar a precipitação em períodos de chuva e subestimar em períodos de seca. Dessa forma, os dados do satélite não são capazes de dimensionar os reservatórios de maneira satisfatória, necessitando do dobro de volume de armazenamento quando comparado com os reservatórios dimensionados com os dados de pluviômetros. Além disso, o consumo diário e o total de precipitação são as variáveis que mais impactam no volume dimensionado.

Palavras-chave: Aproveitamento da água de chuva, pluviômetros, TRMM

ABSTRACT

The use of rainwater for non-potable purposes has become increasingly common in regions with scarce water availability. This water is stored in reservoirs, the volume of which is designed to avoid unnecessary expenditure. One of the key variables in calculating the volume of reservoirs is the region's rainfall data, which is not always available in good quality due to the limitations of traditional data collection methods. Satellites have emerged as an alternative for collecting rainfall data, as they cover a large area and operate continuously over time. In this context, this study aims to analyze the design behavior of rainwater reservoirs in buildings using data from the *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM) satellite and rain gauge data from 1998 to 2018. In particular, the aim is to collect and analyze rainfall data between 1998 and 2018, compare the volumes of the designed reservoirs and analyze which variables have the greatest impact on reservoir sizes. To do this, information was used, such as consumption and catchment area, from three buildings in the city of Delmiro Gouveia - AL, as well as rain gauge data collected on the HidroWeb platform and TRMM data, specifically product 3B42-V7. This information was used in the Simulation Method to calculate the volume of the reservoirs. It was found that satellite data tends to underestimate the total rainfall for the period analyzed. In addition, the TRMM has a tendency to overestimate rainfall data in rainy periods and underestimate it in dry periods. As a result, it is not possible to design the reservoirs satisfactorily with the satellite data, as they require twice the volume when compared to reservoirs designed using rain gauge data. In addition, daily consumption and total rainfall are the variables that have the greatest impact on the final design volume.

Keywords: Rainwater harvesting, rain gauges, TRMM

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Disponibilidade de água doce no mundo.	17
Figura 2 – Sistema de reaproveitamento de água da chuva.	20
Figura 3 – Área de captura.	21
Figura 4 – Coeficiente de escoamento.	21
Figura 5 – Chuvas Convectivas.	24
Figura 6 – Chuvas Ciclônicas.	25
Figura 7 – Chuvas Orográficas.	25
Figura 8 – Pluviômetro Ville de Paris.	27
Figura 9 – Pluviógrafo mecânico.	28
Figura 10 – Estação meteorológica.	28
Figura 11 – Radar meteorológico.	29
Figura 12 – Espectro Eletromagnético.	31
Figura 13 – Distribuição de <i>pixels</i> sobre o estado da Paraíba.	32
Figura 14 – Instrumentos do satélite TRMM.	35
Figura 15 – Localização de Delmiro Gouveia.	37
Figura 16 – Interior do Campus do Sertão.	38
Figura 17 – Hotel Aline.	39
Figura 18 – Janela principal do Hidro.	40
Figura 19 – Localização dos <i>pixels</i> e pluviômetro em Delmiro Gouveia.	41
Figura 20 – Gráfico de precipitação acumulada.	44
Figura 21 – Gráfico de precipitação anual.	45
Figura 22 – Gráfico de acúmulo de precipitação mensal.	46
Figura 23 – Gráfico de percentual de falhas para o Campus do Sertão.	47
Figura 24 – Gráfico de percentual de falhas para o Hotel Aline.	49
Figura 25 – Gráfico de percentual de falhas para a residência unifamiliar.	51

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Resumo dos objetos de estudo.	39
Tabela 2 – Diferença percentual entre dados de pluviômetro e TRMM para o Campus do Sertão	48
Tabela 3 – Diferença percentual entre dados de pluviômetro e TRMM para o Hotel Aline	50
Tabela 4 – Diferença percentual entre dados de pluviômetro e TRMM para a residência unifamiliar	51

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA	Agência Nacional de Águas
GPM	<i>Global Precipitation Measurement</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
TRMM	<i>Tropical Rainfall Measuring Mission</i>
NASA	<i>National Aeronautics and Space Administration</i>
GES DISC	<i>NASA Goddard Earth Sciences Data and Information Services Center</i>
GSFC	<i>NASA Goddard Space Flight Center</i>
VIS	Banda do visível do espectro eletromagnético
IR	Banda do infravermelho do espectro eletromagnético
MW	Banda do micro-ondas do espectro eletromagnético

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	OBJETIVOS	16
2.1	Objetivo Geral	16
2.2	Objetivos Específicos	16
3	REVISÃO DA LITERATURA	17
3.1	A Importância da Água	17
3.2	Aproveitamento de Água de Chuva	18
3.2.1	Sistemas de Aproveitamento de Água de Chuva	19
3.3	Precipitação	23
3.3.1	Coleta de dados de Precipitação	26
3.4	Sensoriamento Remoto	30
3.4.1	Estimativa de Precipitação por Sensoriamento Remoto	33
3.4.2	O Satélite TRMM	34
4	MATERIAIS E MÉTODOS	37
4.1	Área de Estudo	37
4.2	Objeto de Estudo	37
4.3	Coleta de Dados	40
4.3.1	Pluviômetros	40
4.3.2	TRMM	40
4.4	Simulação	42
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	44
5.1	Análise das Precipitações	44
5.2	Análise dos Reservatórios	47
5.2.1	Campus do Sertão	47
5.2.2	Hotel Aline	48
5.2.3	Residência Unifamiliar	50
6	CONCLUSÃO	53

REFERÊNCIAS	54
APÊNDICES	59
APÊNDICE A – ALGORITMO DE DIMENSIONAMENTO DE VOLUME DE RESERVATÓRIO PELO MÉTODO DA SIMULAÇÃO	60
APÊNDICE B – ALGORITMO PARA SOMAR AS PRECIPITAÇÕES HORÁRIAS DO TRMM EM DIAS	64
ANEXOS	66
ANEXO A – CÓDIGO-FONTE DO PROGRAMA PARA LEITURA DE DADOS DO TRMM	67

1 INTRODUÇÃO

O uso consciente de água doce tem se tornado um tema cada vez mais importante na sociedade, devido à sua disponibilidade limitada e problemas como a poluição. O emprego de fontes alternativas de água para tarefas menos nobres, como a água de chuva, é cada vez mais prevalente em edificações residenciais e comerciais, principalmente em regiões com grande déficit hídrico, como visto nos trabalhos de Batista e Nahum (2023), Sant'Ana *et al.* (2023) e Souza (2023).

Essas edificações utilizam do telhado para captar água de chuva e armazená-la em um reservatório. Para evitar custos desnecessários, os reservatórios são dimensionados de acordo com métodos normativos, que levam em conta, dentre outros fatores, o consumo estimado de água e índices de precipitação da região (BATISTA; NAHUM, 2023).

No Brasil, o monitoramento da precipitação é realizado principalmente com base na coleta da água de chuva com pluviômetros, por serem os equipamentos mais baratos e fáceis de serem instalados. No entanto, a coleta de dados por pluviômetros possui limitações, como a baixa confiabilidade dos dados para áreas extensas, baixa cobertura territorial e a dependência do correto manuseio e coleta por parte do operador.

Esses fatores fazem com que os dados de chuva disponibilizados à população apresentem falhas pontuais ou grandes lacunas que impossibilitam seu uso em modelos de cálculo. Como forma de contornar essas limitações, novos métodos de coleta de dados foram desenvolvidos, dentre os quais se destaca o sensoriamento remoto.

O sensoriamento remoto é uma técnica que utiliza equipamentos instalados em satélites que coletam dados da superfície terrestre, onde são posteriormente processados em diferentes produtos. Por estarem em órbita, possuem grande cobertura espacial, atingindo lugares onde a instalação e operação de pluviômetros é inviável (COSTA, 2017).

Dentre os diversos satélites disponíveis, o satélite *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM) tem se destacado por apresentar bons resultados no monitoramento de chuvas, como visto em Collischonn (2006). Dessa forma, os dados de chuva coletados por satélite podem ser uma alternativa para regiões onde os dados de pluviômetros são incompletos ou insuficientes para utilização em métodos de cálculo de reservatórios.

Partindo da hipótese de que os dados pluviométricos do satélite TRMM são capazes de

dimensionar reservatórios para aproveitamento de águas pluviais com alta similaridade quando comparado com dados de pluviômetros, o presente trabalho busca analisar o desempenho dos dados do satélite TRMM para o dimensionamento de reservatórios de água de chuva, quando comparados com dados coletados por pluviômetros, para três edificações do município de Delmiro Gouveia - AL, com dados obtidos no intervalo entre 1998 a 2018.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral do trabalho é analisar o comportamento do dimensionamento de reservatórios para aproveitamento de águas pluviais utilizando dados do satélite TRMM e dados de pluviômetros no período entre 1998 a 2018 para três edificações do município de Delmiro Gouveia - AL.

2.2 Objetivos Específicos

Em específico, busca-se:

- Coletar e analisar os dados de pluviômetro e satélite para o período entre 1998 e 2018;
- Dimensionar reservatórios com base no Método da Simulação;
- Comparar os volumes dos reservatórios dimensionados com dados de satélite e pluviômetros e suas diferenças;
- Analisar quais variáveis geram os maiores impactos no dimensionamento dos reservatórios.

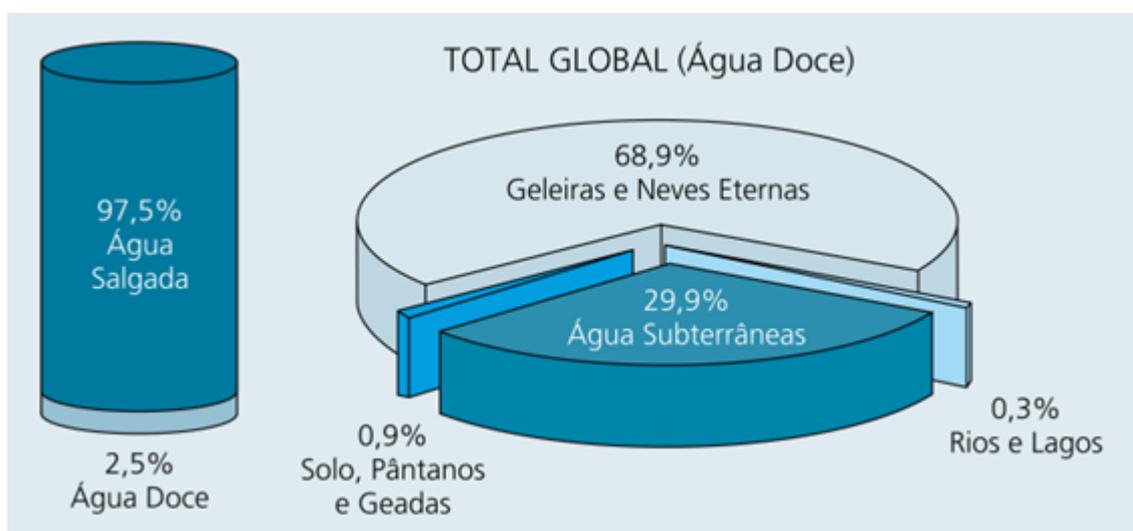
3 REVISÃO DA LITERATURA

3.1 A Importância da Água

A água é um elemento essencial não só para a manutenção dos ecossistemas e da vida de todos os seres do planeta, como também tem papel fundamental no desenvolvimento econômico e social de um país (WOLKMER; PIMMEL, 2013). No entanto, a alta demanda, o uso inconsequente e a contaminação devido à ação humana afetam diretamente a disponibilidade de água potável para o consumo da população.

Embora o planeta possua cerca de 70% da sua área superficial coberta por água, apenas uma pequena fração é propícia ao consumo. Como mostra a Figura 1, de toda a água existente na superfície, 97,5% é salgada e não adequada para o consumo humano nem para a agricultura. Dos 2,5% de água doce disponível, 68,9% estão concentradas nas geleiras, 29,9% são águas subterrâneas e apenas 1,2% encontram-se nos rios, lagos e superfícies do globo (BRITO *et al.*, 2007).

Figura 1 – Disponibilidade de água doce no mundo.



Fonte: Brito *et al.* (2007).

O Brasil situa-se em uma posição privilegiada em relação a outros países quanto à disponibilidade de água, pois possui em seu território cerca de 12% das reservas de água doce do mundo (SILVA NETTO, 2022). Contudo, sua distribuição no território brasileiro é irregular, com grande parte dessa disponibilidade hídrica encontrando-se na região amazônica, longe das grandes capitais do país, onde a demanda por água potável é maior.

Os esforços para garantir o abastecimento hídrico de pessoas e animais e viabilizar a irrigação ainda não são, de forma global, suficientes. Parte da população nordestina, por exemplo, ainda continua vulnerável às estiagens que ocorrem na região. Garantir a oferta de água em quantidade e qualidade, principalmente para a população rural, é um dos desafios da região (CAETANO *et al.*, 2021).

Os sistemas de aproveitamento de água de chuva representam uma das medidas contemporâneas de maior destaque no que se refere à sustentabilidade hídrica. Tais sistemas possibilitam a redução do consumo de água potável, a minimização de enchentes ou alagamentos e surgem como alternativas de abastecimento em meio a um cenário crítico de indisponibilidade hídrica (LIONÇO *et al.*, 2021).

3.2 Aproveitamento de Água de Chuva

O aproveitamento da água de chuva possui uma tradição milenar. Constitui-se em uma tecnologia utilizada para coletar e armazenar água de chuva que escoam em telhados, superfícies de terra ou superfícies rochosas. Essa água pode ser usada em diversas atividades domésticas, como na limpeza ou em vasos sanitários, ou pode ter uso produtivo na agricultura (HELMREICH; HORN, 2009).

Diversas civilizações ao longo da história utilizaram da água de chuva para suas atividades. Na região do Oriente Médio, a população já sabia da importância de se ter uma cisterna para armazenamento de água por volta de 830 a.C. Civilizações antigas, como os Astecas e Maias, recolhiam a água de chuva para consumo e uso na agricultura (YOSHINO, 2012).

Atualmente, diversos países consideram o uso de águas pluviais como um tema de grande importância, devido à problemática do consumo sustentável. Tóquio é um exemplo de grande megalópole que utiliza de maneira intensa sistemas de aproveitamento de água de chuva não só como meio de abastecimento, como também como forma de combater enchentes (ANNECCHINI, 2005).

Em alguns países, existem incentivos monetários para a implantação de sistemas de aproveitamento de água de chuva, como ocorre na Alemanha. Não só setores residenciais se beneficiam com o uso de águas pluviais, indústrias e prestadores de serviços também podem se beneficiar com a sua utilização em processos menos nobres, garantindo economia e sustentabilidade do empreendimento (YOSHINO, 2012).

No Nordeste brasileiro, uma das principais formas de aproveitamento de água de chuva é através do uso de cisternas. As cisternas são reservatórios para armazenamento de água que aproveita o telhado das residências para coletar água e armazená-la. A utilização dessas cisternas é de fundamental importância em locais com déficit extremo de água potável no semi-árido nordestino, pois permite acesso à água e uma condição de vida melhor para a população (MAY, 2004).

Não só no Nordeste o uso de águas pluviais é importante. Em São Paulo, a utilização de cisternas têm se tornado cada vez mais necessária devido à falta de água e estiagens que vêm atingindo a região nos últimos anos, necessitando de medidas paliativas para garantir o abastecimento de água para a população de um dos maiores centros urbanos do país.

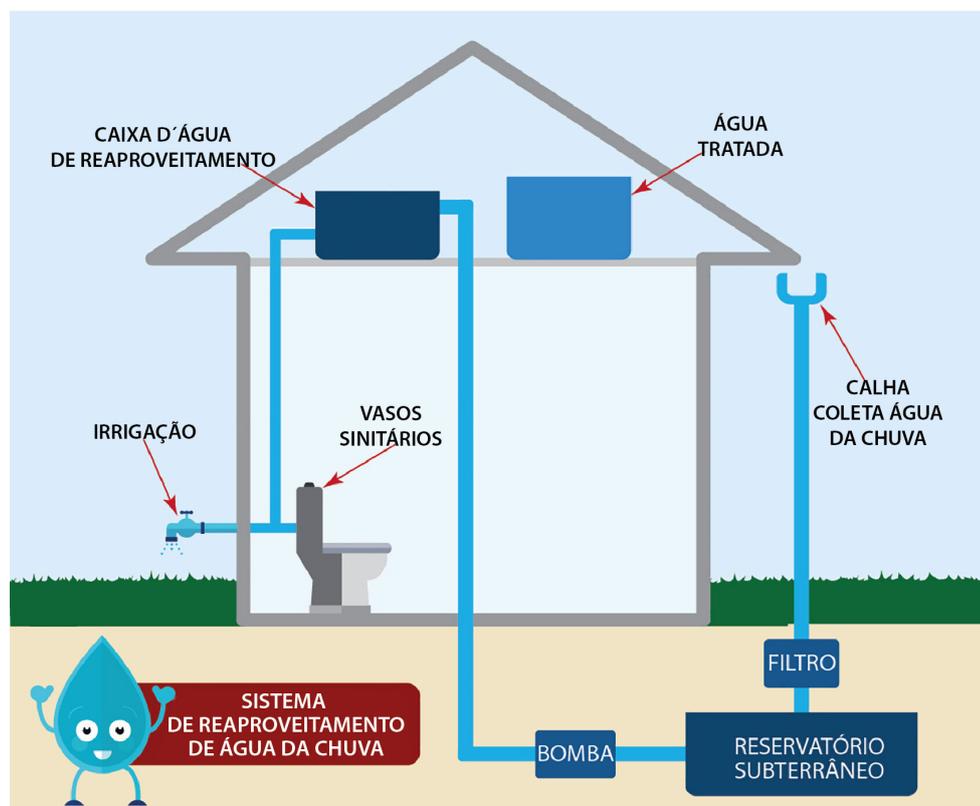
3.2.1 Sistemas de Aproveitamento de Água de Chuva

Os sistemas de aproveitamento de água de chuva possuem vários aspectos positivos, pois possibilitam reduzir o consumo de água potável, minimizar o risco de enchentes e preservar os recursos hídricos do planeta. Além disso, os sistemas modernos apresentam outras vantagens, como a utilização da estrutura existente na edificação e qualidade da água aceitável para fins menos nobres (MARINOSKI, 2007).

Existem vários tipos de sistemas de captação e aproveitamento de água de chuva, que vão dos mais simples aos mais complexos, onde a escolha depende da finalidade do uso que será dada à água de chuva coletada (YOSHINO, 2012). Os principais componentes de um sistema de aproveitamento de água da chuva, conforme a Figura 2, são: área de captação, telas ou filtros para remoção de materiais grosseiros, calhas e tubulações verticais para condução da água, reservatórios de armazenamento e, em alguns casos, bomba.

Conforme também visto na Figura 2, o sistema como um todo é separado das instalações de água tratada que vem de uma concessionária. Mesmo com os benefícios do uso da água de chuva, é importante tratá-la como uma fonte alternativa de suprimento de água, pois sua qualidade e potabilidade nem sempre podem ser garantidas (ANNECCHINI, 2005). Atividades menos nobres, como irrigação e vasos sanitários, são exemplos de usos de água de chuva em uma residência.

Figura 2 – Sistema de reaproveitamento de água da chuva.



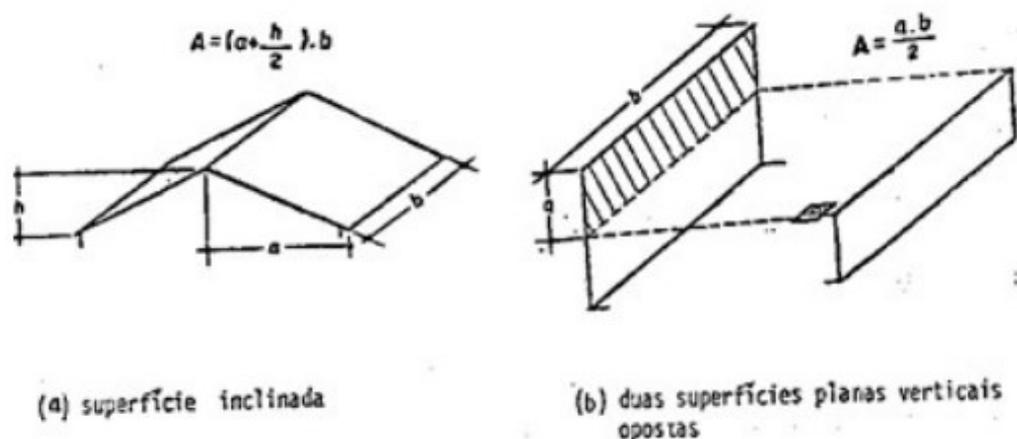
Fonte: Stecca (2020).

O reservatório, foco deste trabalho, é um dos componentes mais importantes de um sistema de aproveitamento de água de chuva. Os reservatórios necessitam de um dimensionamento, que leva em conta os seguintes critérios: área de captação, demanda de água, regime pluviométrico e confiabilidade requerida do sistema. Dentre esses critérios, a distribuição anual das chuvas é uma das variáveis mais importantes e a mais difícil de ser mensurada (MARINOSKI, 2007).

A captação da água de chuva nos edifícios ocorre a partir de superfícies como o telhado. A norma NBR 10844 (ABNT, 1989) define o cálculo necessário da área a ser considerada para diferentes configurações de coberturas. A Figura 3 mostra o cálculo da área de captação para o caso de telhado com duas águas e platibandas laterais, a configuração mais comum em edifícios e a encontrada neste trabalho.

Os telhados para a coleta da água de chuva pode ser feito de diversos materiais, como cerâmica, fibrocimento, zinco, aço galvanizado, plástico, vidro, acrílico ou até mesmo de concreto armado coberto de manta asfáltica (MAY, 2004). O tipo de telhado impacta diretamente na quantidade de água coletada.

Figura 3 – Área de captura.



Fonte: ABNT (1989).

O volume de água de chuva que pode ser aproveitado não é o mesmo que o precipitado sobre a área de captação, pois ocorrem perdas por evaporação, vazamentos, lavagem do telhado e outras situações. O Coeficiente de escoamento superficial ou Coeficiente de *Runoff* (C) indica a razão entre a água que escoou pela superfície pelo total de água precipitada (MAY, 2004; ANNECCHINI, 2005). A Figura 4 indica valores do coeficiente para diferentes tipos de telhados. É recomendável utilizar um material de telhado com altos valores de C .

Figura 4 – Coeficiente de escoamento.

Tipo	Coeficiente de escoamento	Observações
Folhas de ferro galvanizado	Maior que 0,90	Qualidade da água excelente. A superfície é excelente e, nos dias quentes, a alta temperatura ajuda a esterilizar a água.
Telha cerâmica	0,60 a 0,90	Se vitrificada, apresenta melhor qualidade. Caso contrário, pode apresentar mofo. Pode existir contaminação das junções das telhas.
Telhas de cimento amianto	0,80 a 0,90	Telhas novas podem contribuir para águas coletadas de boa qualidade. Não existe nenhuma evidência de que a ingestão da água que passe por essas telhas cause algum efeito cancerígeno. Levemente porosas, o que diminui o coeficiente de escoamento. Quando velhas, podem apresentar lodo e rachaduras.
Orgânico (Sapê)	0,20	Qualidade da água ruim. Pouca eficiência da primeira chuva. Alta turbidez devido à presença de matéria orgânica dissolvida e em suspensão.

Fonte: Alcântara Júnior (2016).

O consumo de água é um fator determinante nos sistemas de aproveitamento de água da chuva, pois os reservatórios são pensados e dimensionados para suprir uma certa demanda. Dessa forma, conhecer os padrões de consumo de edifícios ou estabelecimentos é vital para garantir um sistema econômico e confiável (ANNECCHINI, 2005).

Além do consumo, outro fator importante no dimensionamento de reservatórios é o nível de confiabilidade do sistema. Um reservatório 100% confiável seria oneroso e de grandes dimensões. Admitir um pequeno percentual de falhas que o sistema pode apresentar é uma maneira de reduzir as dimensões de um reservatórios e tornar viável financeiramente a implementação do sistema. Dispositivos para entrada de água potável podem ser instalados e utilizados em casos de necessidade, para que não haja falta de abastecimento nos pontos de uso (MAY, 2004; ANNECCHINI, 2005).

Existem diversos tipos de modelos de cálculo para o de dimensionamento de reservatórios. Neste trabalho, utilizou-se o Método da Simulação, cuja formulação e informações adicionais estão presentes na norma NBR 15527 (ABNT, 2007). O método consiste na simulação diária do volume do reservatório, considerando as saídas de água para o consumo e entradas de água devido à precipitação.

Conhecer os índices pluviométricos da região do edifício é vital para o correto dimensionamento dos reservatórios. No Brasil, os dados de chuva são coletados utilizando pluviômetros espalhados pela superfície. No entanto, nem sempre esses dados são confiáveis. Pimentel (2021), em seu trabalho, verificou que os dados de chuva disponíveis para acesso datavam de 2002, mas, devido às falhas de registro, os dados efetivamente utilizados datam do ano de 2009. Esse tipo de situação se repete em vários postos pluviométricos do país.

Novos meios de coleta de dados de chuva foram desenvolvidos ao longo dos anos. Métodos baseados em sensoriamento remoto têm sido uma das principais formas de obtenção de dados pluviométricos em regiões de insuficiência na rede pluviométrica, como visto nos trabalhos de Collischonn (2006), Louzada (2016) e Costa (2017). O método consiste na utilização de sensores instalados em satélites em órbita que coletam e transmitem dados, que são processados e disponibilizados ao público.

Para a compreensão dos métodos de coleta de dados de chuva por sensoriamento remoto, é necessária uma revisão dos conceitos de precipitação e formação de nuvens, além dos métodos tradicionais de coleta de dados pluviométricos.

3.3 Precipitação

A precipitação é toda a água proveniente do meio atmosférico que atinge a superfície terrestre. Ela pode ocorrer em forma de neblina, chuva, granizo, saraiva, orvalho ou neve, onde o estado físico da água é o principal diferenciador dos diferentes tipos de precipitação (TUCCI, 2001). Neste trabalho, considera-se precipitação como sendo apenas a chuva no estado líquido.

As precipitações surgem a partir das nuvens na atmosfera. Segundo Tucci (2001), a nuvem é um aerossol constituído por uma mistura de ar, vapor de água, gotículas em estado líquido e diminutos cristais de gelo. Este aerossol encontra-se em suspensão estável pelo efeito da turbulência no meio atmosférico e/ou devido à existência de correntes de ar ascendentes que contrabalançam a força da gravidade.

As nuvens são formadas por condensação de vapor de água presente no ar. Para que isso ocorra, primeiramente o ar deve estar saturado, que ocorre com diminuição da temperatura até abaixo do ponto de orvalho ou por adição de vapor de água ao ar. Além disso, deve-se existir uma superfície sobre a qual o vapor pode condensar. Essas superfícies, tais como partículas de poeira, sal e material fino em suspensão, existem em profusão na atmosfera e são denominadas núcleos de condensação (COLLISCHONN, 2006).

A presença de nuvens é fundamental para a ocorrência de precipitações. No entanto, nem todas as nuvens levam à chuva. A origem das precipitações está ligada ao crescimento das gotículas das nuvens, o que ocorre quando forem reunidas certas condições (TUCCI, 2001). Segundo Carvalho *et al.* (2007), os principais elementos necessários para a formação de precipitação são:

- umidade atmosférica, decorrente do fenômeno da evapotranspiração;
- mecanismos de resfriamento do ar, relacionadas com a ascensão do ar úmido;
- presença de núcleos de condensação, tais como poeira e sais;
- mecanismo de crescimento de gotas, como o fenômeno da colisão-coalescência.

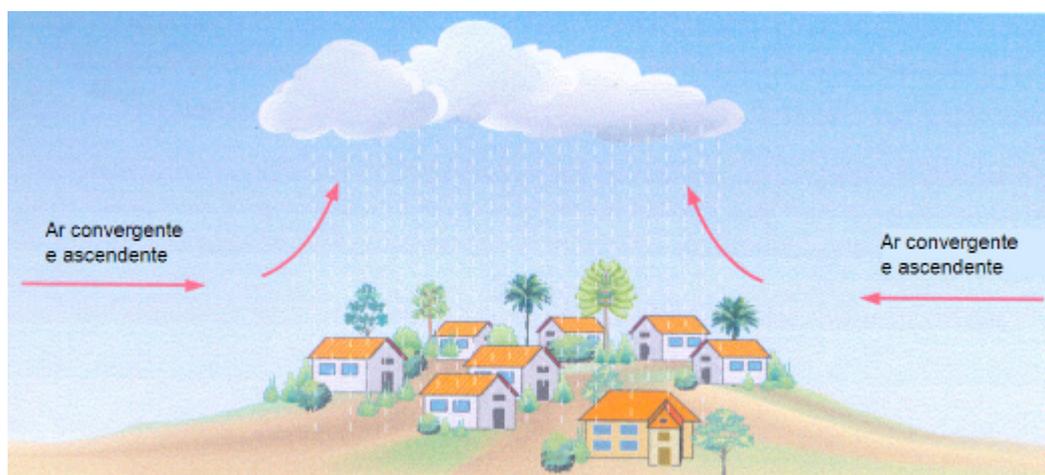
O processo de colisão-coalescência ocorre quando as gotículas crescem de tamanho com a absorção do vapor de água presente na nuvem pelos núcleos de condensação. Quando as partículas estão grandes, elas tendem a cair (ou ascender, em fluxos verticais) mais rapidamente, encontrando partículas menores que se juntam até a gota ter tamanho suficiente para precipitar sem que ocorra evaporação (COLLISCHONN, 2006).

Para que ocorra o resfriamento do ar úmido, há necessidade de sua ascensão, que pode ser devida aos seguintes fatores: ação frontal de massas de ar, convecção térmica e relevo (CARVALHO *et al.*, 2007). Conforme o mecanismo fundamental pelo qual se produz a ascensão do ar úmido, os diferentes tipos de precipitações podem ser classificadas em: convectivas, orográficas e frontais ou ciclônicas (TUCCI, 2001).

As chuvas convectivas (Figura 5) ocorrem quando, em tempo calmo, o ar úmido for aquecido na vizinhança do solo, criando camadas de ar que se mantêm em equilíbrio instável. Se esse equilíbrio for quebrado por qualquer motivo, como ventos e superaquecimento, há uma ascensão brusca de ar menos denso, que atingirá o seu nível de condensação com formação de nuvens e, muitas vezes, precipitações (CARVALHO *et al.*, 2007; TUCCI, 2001).

Esse tipo de precipitação é característica em regiões tropicais e apresentam grande intensidade e curta duração, concentradas em pequenas áreas. São precipitações que podem causar importantes inundações em pequenas bacias (TUCCI, 2001).

Figura 5 – Chuvas Convectivas.



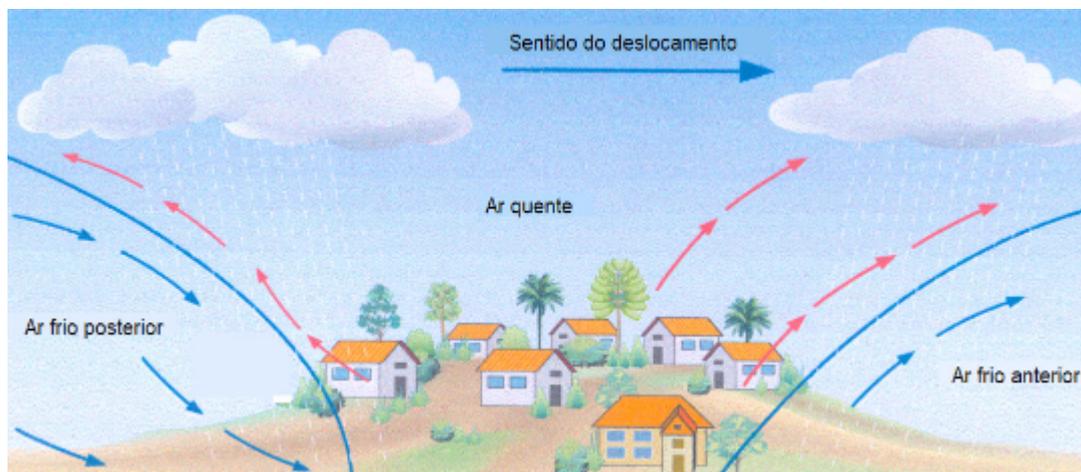
Fonte: May (2004).

As chuvas frontais ou ciclônicas (Figura 6) ocorrem em regiões de convergência entre massas de ar quente e frio. O ar quente e úmido ascende sobre a massa de ar frio, resultando no seu resfriamento e na condensação do vapor de água, de forma a produzir chuvas (TUCCI, 2001). Uma frente fria ocorre quando ar frio encontra ar quente em baixa velocidade e se move sob o mesmo (representado à esquerda na Figura 6), enquanto que uma frente quente ocorre quando ar quente em movimento se sobrepõe ao ar mais frio e lento (representado à direita na Figura 6) (COLLISCHONN, 2006).

Esse tipo de precipitação se caracteriza por ocorrer em grandes áreas e ser de longa dura-

ção, pois derivam de massas de ar com centenas de quilômetros de extensão e de movimentação lenta. (COLLISCHONN; DORNELLES, 2015)

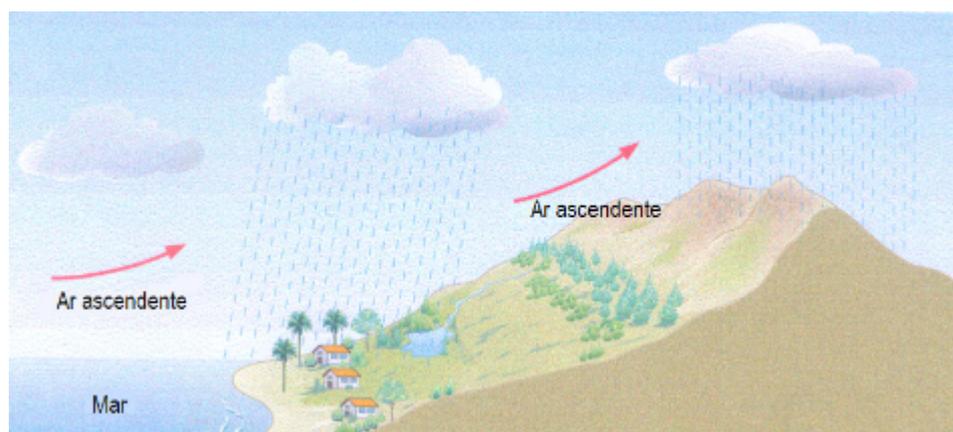
Figura 6 – Chuvas Ciclônicas.



Fonte: May (2004).

As chuvas orográficas (Figura 7) ocorrem quando ventos quentes e úmidos, que sopram do mar ao continente, encontram um grande obstáculo do relevo, como uma barreira montanhosa, que obriga o ar a subir para níveis mais altos da atmosfera, ocorrendo condensação de vapor, formação de nuvens e ocorrência de chuvas (COLLISCHONN; DORNELLES, 2015). São chuvas de pequena intensidade e de grande duração, que cobrem pequenas áreas (TUCCI, 2001).

Figura 7 – Chuvas Orográficas.



Fonte: May (2004).

Além dos mecanismos de formação de precipitações, também é importante conhecer as grandezas que caracterizam as chuvas, os métodos para obtenção de dados pluviométricos, que são utilizados para diversas aplicações hidrológicas, e as limitações dos métodos atuais.

3.3.1 Coleta de dados de Precipitação

Dentre as principais grandezas que caracterizam as precipitações e que possuem uma importância maior no estudo da hidrologia, podemos citar: altura pluviométrica, duração e intensidade (TUCCI, 2001).

A altura pluviométrica expressa a lâmina d'água precipitada sobre uma área, admitindo-se que não ocorra a infiltração, evaporação e nem o escoamento dessa água para fora dos limites da região. A unidade de medida habitual é o milímetro de chuva, que expressa a quantidade de chuva correspondente ao volume de 1 litro por metro quadrado de superfície, ou seja, 1 milímetro de chuva equivale a 1 litro água em uma área de 1 metro quadrado (TUCCI, 2001; CARVALHO *et al.*, 2007).

A duração e intensidade também são características importantes das precipitações. Aquela indica o período de tempo contado desde o início até o fim da precipitação, enquanto que esta indica a razão entre a altura pluviométrica e a duração, geralmente expressa em milímetros por hora ou minuto. (CARVALHO *et al.*, 2007).

Assim, uma chuva de 100 milímetros causará consequências distintas se esse volume de água cair em uma hora ou dez horas. No entanto, neste trabalho, considera-se apenas a altura pluviométrica, sem levar em conta sua duração e intensidade.

A medição da precipitação ocorre de duas maneiras distintas: pontualmente, com a utilização de pluviômetros ou pluviógrafos, ou espacialmente, com a utilização de radares meteorológicos. Os pluviômetros e pluviógrafos são instrumentos de mensuração direta, pois captam diretamente a água precipitada, enquanto que os radares meteorológicos utilizam ondas eletromagnéticas para realizar a mensuração da precipitação no espaço. (TUCCI, 2001; MOL, 2005).

O pluviômetro é um recipiente utilizado para recolher e medir a quantidade em milímetros de chuva que precipitou em um local. Acima desse recipiente é colocado um funil, como mostra a Figura 8, com área de captação definida pelo fabricante. O recipiente é calibrado para a área de captação do funil e varia a depender do modelo utilizado.

Admite-se de forma geral que a interceptação da chuva deve ser feita a uma altura média acima da superfície do solo, entre 1m e 1,5m de altura (TUCCI, 2001). Além disso, o aparelho deve ficar longe de qualquer obstáculo que possa interferir na área de captação, como árvores ou edificações.

Figura 8 – Pluviômetro Ville de Paris.



Fonte: Oliveira Júnior (2017).

A coleta de dados com pluviômetros é feita manualmente. Diariamente, usualmente de manhã cedo, o operador verifica a quantidade de água no recipiente e registra esse valor. Esses valores coletados são referentes ao dia anterior. A ausência de precipitação também é registrada com o valor zero, e não pode ser confundida com uma lacuna na observação (TUCCI, 2001).

Embora seja muito utilizado no Brasil, o pluviômetro possui suas limitações. Por ter operação manual, é possível que haja erros ou falhas de medição do receptáculo de coleta. Além disso, não é possível medir a intensidade de uma precipitação, pois os dados são coletados em um único momento. Por fim, a área de captação é muito pequena, tornando difícil medir chuvas pontuais em uma vasta área.

Novos equipamentos surgiram como forma de contornar as limitações dos pluviômetros e coletar dados mais precisos de precipitação. Os pluviógrafos (Figura 9) são equipamentos que coletam e gravam continuamente as precipitações. Devido à essa característica de monitoramento contínuo, os dados de pluviógrafos permitem estimar não só a altura pluviométrica, como também a intensidade, duração e frequência das chuvas (TUCCI, 2001).

Os pluviógrafos podem ser tanto mecânicos quanto digitais. Nos pluviógrafos mecânicos, como mostra a Figura 9, os dados de chuva são registrados em uma fita de papel colocada em volta de um tambor com rotação de 24 horas até 8 dias. Essas fitas são chamadas de pluviogramas e os dados são coletados posteriormente para a análise e registro (TUCCI, 2001). Pluviógrafos

digitais coletam e armazenam os dados de precipitação em equipamentos eletrônicos, que tem a vantagem de não depender de equipamento mecânico e os dados podem ser coletados remotamente, via rádio ou satélite (NASCIMENTO *et al.*, 2017).

Figura 9 – Pluviógrafo mecânico.



Fonte: Marinha do Brasil (2017).

Outro equipamento utilizado para coleta de dados de precipitação e outros dados meteorológicos é a estação meteorológica. Uma estação meteorológica (Figura 10) é composta por instrumentos que registram medidas dos elementos do clima: radiação solar, temperatura e umidade do ar, velocidade e direção do vento, precipitação e pressão atmosférica (FRANCO, 2021).

As estações meteorológicas geram dados que vão além da medição da precipitação da região. Os dados que advêm das estações meteorológicas são úteis em vários segmentos, em especial na previsão do tempo, sendo muito importantes para as atividades agrícolas e para prevenir desastres (SILVA; SOUSA, 2024).

Figura 10 – Estação meteorológica.



Fonte: UTFPR (2024).

Embora os pluviógrafos e as estações meteorológicas apresentem vantagens quando comparados com pluviômetros, esses equipamentos também possuem algumas limitações. A distribuição espacial de pluviógrafos e estações meteorológicas ainda é limitada, onde apenas alguns pontos do território brasileiro são monitorados por esses equipamentos. Além disso, os custos de implementação, principalmente das estações meteorológicas, muitas vezes inviabilizam sua instalação (FRANCO, 2021).

Outra alternativa para a coleta de dados de chuva é a utilização de radares meteorológicos (Figura 11). O radar é um equipamento ativo, capaz de realizar o sensoriamento remoto da atmosfera adequado para monitorar os sistemas precipitantes, devido à sua alta resolução espacial e temporal. O seu funcionamento baseia-se na intensidade da reflexão de um pulso de energia eletromagnética, emitido por uma antena, quando o pulso encontra gotas de água e cristais de gelo em suspensão na atmosfera (MOL, 2005; ALMEIDA, 2015).

Figura 11 – Radar meteorológico.



Fonte: Monteiro e Boldrino (2023).

Os radares são capazes de medir precipitações em uma área maior quando comparado com pluviômetros, pluviógrafos ou estações meteorológicas. Entretanto, os radares possuem algumas fontes de erro na estimativa de precipitação. Essas fontes de erro estão associadas à calibração eletrônica do equipamento, à equação de transformação da refletividade efetiva em taxa de precipitação, ao efeito da curvatura da Terra, à zona de derretimento de cristais de gelo na nuvem entre outras (MOL, 2005).

A estimativa de precipitação por satélite oferece um caminho para compensar as limitações dos métodos tradicionais de medição de chuvas. Segundo Mol (2005), a estimativa de

precipitação por satélite possui uma ampla abrangência, pode ser realizada em áreas do globo de difícil acesso, como regiões montanhosas, e não apresenta certas inconsistências espaciais que afetam os radares. No próximo tópico, tem-se uma discussão sobre satélites e sensoriamento remoto.

3.4 Sensoriamento Remoto

O sensoriamento remoto é a tecnologia que permite obter imagens e outros tipos de dados da superfície terrestre por meio da captação e do registro da energia refletida ou emitida pela superfície (FLORENZANO, 2011). A obtenção desses dados ocorre através de instrumentos como câmeras, escâneres ou *lasers*, que são instalados em plataformas como aeronaves ou satélites, não havendo contato físico entre os instrumentos e os objetos terrestres.

Os instrumentos, também conhecidos como sensores ou radiômetros, registram a radiação eletromagnética, que se propaga em ondas eletromagnéticas na velocidade da luz. Essa radiação pode ser oriunda de uma fonte natural, como a luz do sol ou o calor emitido pela superfície, ou pode ser de uma fonte artificial, como um sinal produzido por um radar (FLORENZANO, 2011; JENSEN, 2009).

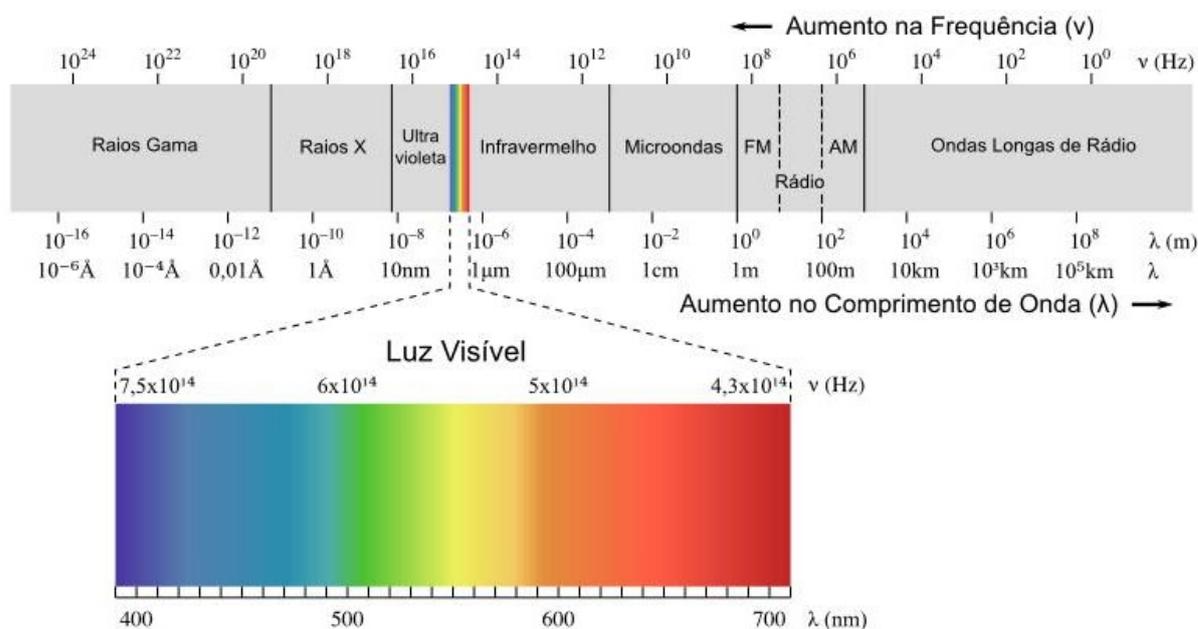
A radiação eletromagnética é medida em frequência (ν), em unidade de hertz (Hz), e comprimento de onda (λ), em unidade de metros e seus submúltiplos, como o micrômetro ou nanômetro. As várias formas de radiação, caracterizadas pelo seu comprimento de onda, compõem o espectro eletromagnético, como mostra a Figura 12. O olho humano é capaz de enxergar apenas a região da luz visível do espectro eletromagnético, mas sensores são capazes de detectar outros tipos de radiação, como a radiação infravermelha e micro-ondas.

Os objetos na superfície terrestre refletem, absorvem e transmitem radiação eletromagnética em proporções que variam com o comprimento de onda, de acordo com suas características físicas e químicas (FLORENZANO, 2011). Mudanças na quantidade ou propriedade da radiação eletromagnética tornam-se, pela detecção do sensor, uma fonte valiosa de dados para interpretar os fenômenos de interesse do pesquisador (JENSEN, 2009).

Os sensores possuem características importantes para o entendimento deste trabalho. A resolução espectral de um sensor é o número e o tamanho de intervalos de comprimentos de ondas específicos, chamados bandas ou canais, aos quais um instrumento de sensoriamento remoto é sensível (JENSEN, 2009). Um sensor capaz de captar dados da região da luz visível e

do infravermelho ao mesmo tempo é chamado de sensor multiespectral, pois registra dados de diferentes bandas do espectro eletromagnético.

Figura 12 – Espectro Eletromagnético.



Fonte: Damasceno *et al.* (2021).

Outra característica dos sensores é a sua resolução espacial. A resolução espacial é a capacidade que o sensor tem de discriminar objetos em função do tamanho destes (FLORENZANO, 2011). Dessa forma, um sensor com resolução espacial de 10 metros, por exemplo, é capaz de detectar objetos maiores que 10x10 metros. Os sensores orbitais possuem resolução espacial baseado na menor dimensão latitudinal e longitudinal que conseguem registrar informações.

Os sensores orbitais podem passar por uma mesma região do espaço em intervalos de tempo definidos. A resolução temporal de um sensor refere-se a quão frequente o instrumento registra imagens de uma área particular (JENSEN, 2009). Um satélite, por exemplo, pode possuir resolução temporal de dias ou horas.

Os sensores também podem ser classificados em ativos e passivos. Um sensor ativo é aquele que produz uma fonte de radiação própria, que interage com os alvos e é refletida de volta ao instrumento. Os radares são considerados sensores ativos. Já sensores passivos captam a radiação solar refletida ou transmitida ou a radiação emitida naturalmente pelo alvo. Escâneres multiespectrais são exemplos de sensores passivos (COSTA, 2017; FLORENZANO, 2011).

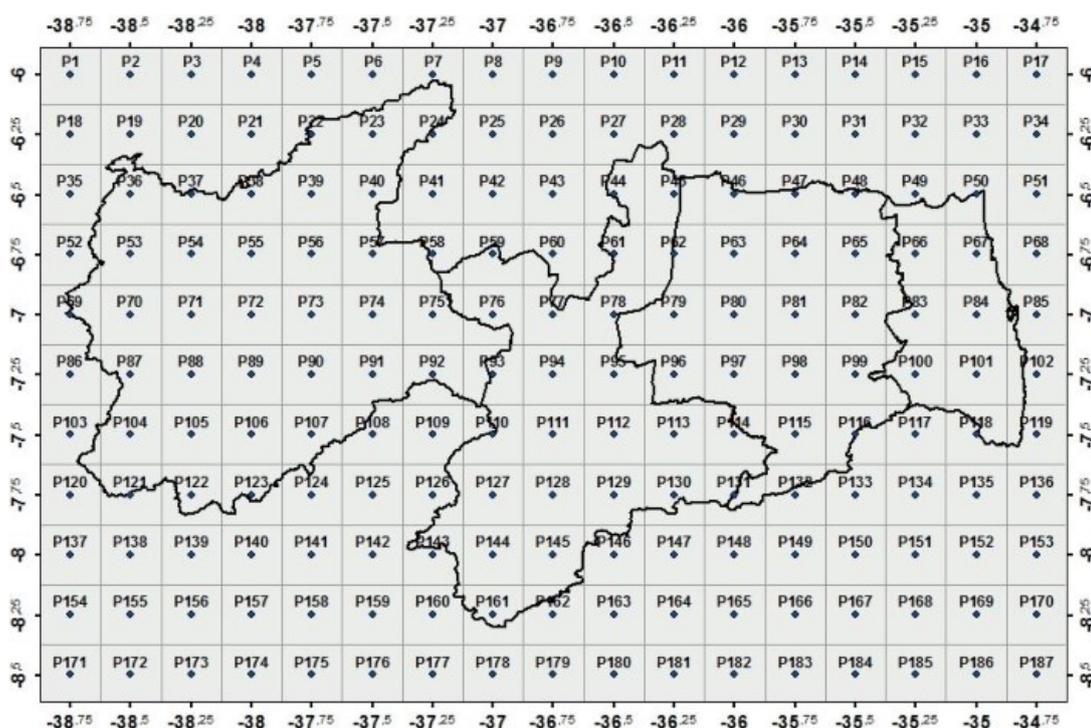
A resolução radiométrica é outra característica importante de alguns instrumentos. Ela se refere à capacidade de o sensor discriminar a intensidade de energia refletida ou emitida pelos

objetos. Ela determina o intervalo de valores (associados a níveis de cinza) que é possível utilizar para representar uma imagem digital (FLORENZANO, 2011).

As imagens geradas por um ou mais sensores são estruturadas em matrizes de modo que cada componente de área da superfície corresponde a uma resposta espectral. Essas matrizes são acumuladas em arquivos denominados *raster* e o componente de área é denominado *pixel*, no qual as dimensões podem variar conforme a resolução espacial do satélite orbital (COLLISCHONN, 2006).

Devido à maior abrangência espacial dos instrumentos em órbita, existe uma perda no detalhamento das imagens adquiridas quando comparado com amostras pontuais. A Figura 13 mostra a distribuição de *pixels* de um satélite sobre a região da Paraíba. Percebe-se que os *pixels*, cujo centro está indicado pelos pontos, cobrem uma grande área do estado.

Figura 13 – Distribuição de *pixels* sobre o estado da Paraíba.



Fonte: Costa (2017).

Técnicas e uso de sensoriamento remoto variam conforme área de estudo. Neste trabalho, o foco está na estimativa de precipitação utilizando sensores a bordo de satélites em órbita.

3.4.1 Estimativa de Precipitação por Sensoriamento Remoto

As estimativas de precipitação pluviométrica através de satélites surgiram nos anos 80 como uma fonte alternativa para estimar precipitações, em função da baixa densidade de medidores pluviométricos nas diferentes regiões do planeta (FENSTERSEIFER, 2013). O primeiro satélite meteorológico a registrar as primeiras imagens de topos de nuvem da Terra foi o *Television Infrared Observation Satellite* (TIROS-1) (COSTA, 2017). Desde então, novas tecnologias de sensoriamento remoto voltadas à medição de precipitação foram desenvolvidas.

As principais bandas do espectro eletromagnético, sob o ponto de vista do sensoriamento remoto, são os seguintes: Visível (VIS), Infravermelho (IR) e Micro-ondas (MW) (COLLISCHONN, 2006). Cada uma dessas bandas fornece informações que são valiosas para a estimativa de precipitação dos satélites.

Nas bandas do visível ou infravermelho, as estimativas de precipitação ocorrem pelo fato de que o brilho da luz do sol refletida por nuvens pode ser uma indicação razoável de sua espessura e conseqüentemente do volume de água em seu interior. Além disso, baixas temperaturas de topo de nuvens estão associadas a um maior desenvolvimento vertical de uma nuvem e a uma taxa de precipitação maior (COLLISCHONN, 2006). Essas informações são posteriormente convertidas para uma taxa de precipitação.

Contudo, existem limitações nessa técnica, uma vez que a radiação detectada pelos sensores vem do topo de nuvens e não abaixo destas, onde são produzidas as precipitações. Além disso, nem toda nuvem brilhante ou com o topo frio está efetivamente produzindo precipitação. Inversamente, nem toda nuvem precipitante é brilhante ou fria. (PETTY, 1995; COSTA, 2017). Suas vantagens, por outro lado, são a alta resolução temporal e alta resolução espacial de imagens no infravermelho, fornecendo estimativas com grande detalhamento (COLLISCHONN, 2006).

Um divisor de águas na estimativa de precipitação por satélite foi o emprego de sensores de micro-ondas, que respondem de forma razoavelmente física à presença de água e/ou cristais de gelo no interior das nuvens, e não apenas no seu topo (COLLISCHONN, 2006). De forma geral, as estimativas baseadas em imagens de micro-ondas são mais precisas do que as obtidas com base em imagens no infravermelho.

A taxa de precipitação sobre a terra, estimada por sensores de micro-ondas em órbita, é fortemente dependente do parâmetro de espessura da camada de gelo nas nuvens. Radares meteorológicos são utilizados em satélites para estimar esse parâmetro (COLLISCHONN, 2006).

No entanto, sensores de micro-ondas não são capazes de discriminar precipitações orográficas, pois esse tipo de precipitação forma pouca ou nenhuma partícula de gelo, impossibilitando sua estimativa (PETTY, 1995).

Outra limitação dos sensores de micro-ondas é a sua baixa resolução espacial quando comparado com sensores do visível e infravermelho. Além disso, o longo período entre duas passagens de satélite sobre o mesmo ponto da superfície não permite que seja possível uma integração correta dos totais precipitados sobre períodos mais longos e/ou áreas maiores (COLLISCHONN, 2006).

Os satélites mais modernos utilizam técnicas híbridas para a coleta de dados de precipitação, de forma a explorar as vantagens de cada uma das bandas, ou seja, a alta resolução espacial das estimativas dos sensores do visível e infravermelho e a maior precisão das estimativas por micro-ondas, e superar suas limitações. O satélite TRMM, utilizado neste trabalho, utiliza dessa abordagem híbrida para realizar estimativas de precipitação.

3.4.2 O Satélite TRMM

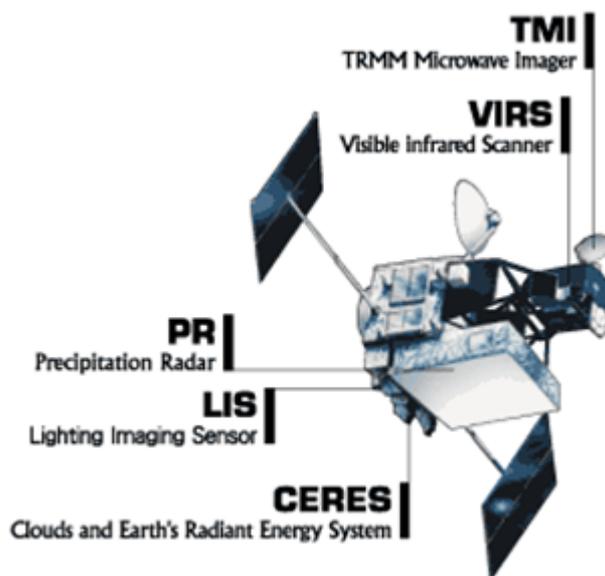
O satélite TRMM (*Tropical Rainfall Measuring Mission*) foi lançado ao espaço no ano de 1997 sob a missão conjunta entre a NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) e a JAXA (*Japan Aerospace and Exploration Agency*), com o objetivo de estudar as precipitações tropicais e subtropicais para aperfeiçoar as pesquisas sobre o clima e meteorologia (NASA GPM, 2024).

O satélite possui vários instrumentos diferentes para detectar precipitações, como mostra a Figura 14: o Imageador de Micro-ondas (TMI), Radar de Precipitação (PR), Radiômetro no Visível e no Infravermelho (VIRS), Sensor de Energia Radiante da Superfície Terrestre e das Nuvens (CERES) e Sensor para Imageamento de Relâmpagos (LIS).

- Imageador de Micro-ondas do TRMM (TMI): é um radiômetro de micro-ondas passivo, responsável por quantificar informações sobre precipitações, tais como o vapor de água, a água precipitável e a intensidade da chuva na atmosfera (LOUZADA, 2016).
- Radar de Precipitação (PR): é um sensor ativo, que emite radiação em micro-ondas e mede a intensidade do sinal que retorna dos alvos na atmosfera. Esse sensor é capaz de produzir mapas tridimensionais de estruturas precipitantes e define a profundidade da camada de

precipitação, além de fornecer informação sobre a chuva que realmente atinge a superfície terrestre (LOUZADA, 2016; COLLISCHONN, 2006).

Figura 14 – Instrumentos do satélite TRMM.



Fonte: NASA GPM (2024).

- Radiômetro no Visível e no Infravermelho (VIRS): é um radiômetro de varredura que fornece observações em alta resolução do tipo de nuvem, área de cobertura da nuvem e a temperatura no topo da nuvem. As imagens desse sensor são utilizadas para delimitar as áreas de nuvens espessas com maior probabilidade de precipitar (NASA GPM, 2024; FENSTERSEIFER, 2013).
- Sensor de Energia Radiante da Superfície Terrestre e das Nuvens (CERES): é um instrumento que operou apenas até março de 2000 e foi projetado para medir energia radiativa no topo da atmosfera e estimar a energia dentro da atmosfera e na superfície terrestre (LOUZADA, 2016).
- Sensor para Imageamento de Relâmpagos (LIS): é um sensor capaz de identificar descargas elétricas e detectar o início de eventos pluviométricos extremos (COSTA, 2017).

Os dados obtidos pelo satélite TRMM disponibilizadas ao público passam por diversos processos de validação. Os pesquisadores têm utilizado diferentes algoritmos para combinação dos sensores do TRMM com os de outros satélites e dados obtidos na superfície, com o objetivo

de melhorar a acurácia, cobertura e a resolução no processamento dos dados de precipitação (COSTA, 2017).

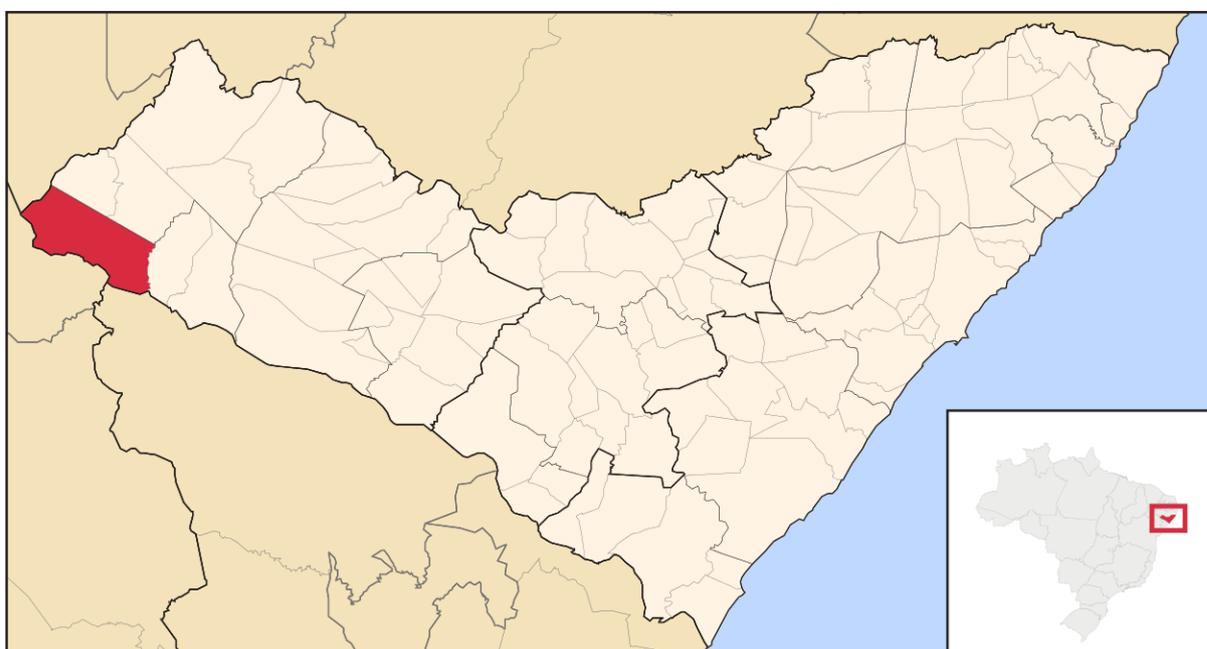
O produto 3B42, utilizado neste trabalho, usa estimativas de precipitação por micro-ondas do TMI, corrigidas através de informações sobre a estrutura vertical das nuvens, obtidas pelo PR, além de passar por uma validação em campo, para minimizar as diferenças entre estimativas por satélite e medições no solo. Esses dados são combinados com imagens do infravermelho de satélites da série GOES (*Geoestationary Operational Environmental Satellites*), resultando em um produto com alta resolução espacial, de $0,25^\circ$, e temporal, de 3 horas (COLLISCHONN, 2006).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Área de Estudo

A região estudada situa-se no município de Delmiro Gouveia, localizado no Sertão de Alagoas, como mostra a Figura 15. O município conta com uma população de 48.096 pessoas e área territorial de 628,545 km^2 (IBGE, 2010). Geograficamente, localiza-se nas coordenadas 9° 23' 11" Sul e 37° 59' 48" Oeste de Greenwich (CIDADE BRASIL, 2021).

Figura 15 – Localização de Delmiro Gouveia.



Fonte: Oliveira Júnior (2011).

4.2 Objeto de Estudo

Os objetos de estudo deste trabalho são três empreendimentos localizados no município de Delmiro Gouveia: o Campus do Sertão da Universidade Federal de Alagoas, o Hotel Aline e uma residência unifamiliar. Esses estabelecimentos foram escolhidos por abrangerem condições de uso e instalações físicas distintas, além de existirem pesquisas sobre o aproveitamento da água de chuva para esses edifícios na literatura.

O Campus do Sertão (Figura 16) localiza-se na AL-145, Km 3, nº 3849, bairro Cidade Universitária. Inaugurado em março de 2010, conta com mais de 1.600 alunos distribuídos entre os cursos de Engenharia Civil, Engenharia de Produção, Letras, Pedagogia, História e Geografia

(LUNA *et al.*, 2020). O Campus também possui uma unidade educacional no município de Santana do Ipanema, em Alagoas.

Figura 16 – Interior do Campus do Sertão.



Fonte: Luna *et al.* (2020).

Estudos sobre o consumo de água e aproveitamento das águas pluviais foram feitos para o campus. Neste trabalho, considerou-se os dados presentes em Alcântara Júnior (2016): $5.598,28 m^2$ para a área de cobertura do bloco principal do Campus, 0,90 para o coeficiente de escoamento superficial do telhado e $6,79 m^3/d$ para o consumo de água. O consumo considera apenas a utilização para irrigação das plantas do campus, que ocorre de maneira intermitente entre os dias.

O Hotel Aline (Figura 17) fica localizado na AL-145, Km 3, nº 14, bairro Cidade Universitária, ao lado das instalações do Campus do Sertão. Com 4 pavimentos, sendo um térreo e 3 andares, com capacidade de abrigar até 218 hóspedes, o Hotel Aline é o maior empreendimento hoteleiro do município, atendendo a população de Delmiro Gouveia e região.

Estudos sobre o consumo e aproveitamento de águas pluviais também foram realizados para o estabelecimento. Neste trabalho, considerou-se os dados presentes em Rodrigues (2018): $775,26 m^2$ para a área de cobertura do hotel, 0,95 para o coeficiente de escoamento superficial do telhado e $1,08 m^3/d$ para o consumo de água. O consumo considera a utilização para irrigação

dos jardins do hotel, que ocorre de maneira diária no funcionamento do estabelecimento.

Figura 17 – Hotel Aline.



Fonte: Booking.com (2022).

A residência unifamiliar fica localizada na Rua Rui Barbosa, no Centro de Delmiro Gouveia. A residência conta com garagem, sala, dois quartos, banheiro, cozinha e área de serviço onde vivem um casal e um filho. Estudos sobre o consumo de água e reaproveitamento de águas pluviais foram feitos nesta residência por Rodrigues *et al.* (2019). Neste trabalho, considerou-se os seguintes dados presentes no estudo: 119,98 m^2 de área de cobertura da residência, 0,90 para o coeficiente de escoamento superficial do telhado e 0,103 m^3/d para o consumo de água, distribuídos entre lavanderia e vaso sanitário, com utilização diária.

A Tabela 1 contém o resumo dos objetos de estudo e características que serão utilizadas no decorrer do desenvolvimento do trabalho.

Tabela 1 – Resumo dos objetos de estudo.

Objeto	Área (m^2)	Coef. escoamento	Demanda (m^3/d)	Finalidade
Campus Sertão	5.598,28	0,90	6,79	Irrigação
Hotel Aline	775,26	0,95	1,08	Irrigação
Residência	119,98	0,90	0,103	Lavanderia e vaso sanitário

Fonte: Autor (2024).

4.3 Coleta de Dados

Neste trabalho, foram utilizados dados de chuva obtidos por postos pluviométricos e pelo satélite TRMM.

4.3.1 Pluviômetros

Os dados de chuva coletados por pluviômetros foram obtidos através do sistema *HidroWeb*, da Agência Nacional de Águas (ANA, 2022). O município de Delmiro Gouveia possui estação meteorológica de código 937013. Os dados pluviométricos foram baixados no formato Access (.MDB) e carregados no *Hidro* (Figura 18), programa de gerenciamento de dados de chuva desenvolvido pela ANA. Com o *Hidro*, foi possível extrair os dados diários de chuva do município de janeiro de 1998 a dezembro de 2018. Não houve necessidade de correção de dados para o período analisado.

Figura 18 – Janela principal do Hidro.

The screenshot shows the main window of the 'Hidro 1.4' software. On the left is a tree view of the database structure, including folders for 'Registros Permanentes', 'Registros Novos', and 'Registros Importados'. The 'Registros Importados' folder is expanded to show 'Séries', which includes 'Chuvvas Diárias'. On the right, a data table is displayed with the following columns: 'Repetido', 'Estação', 'Nível de consistência', 'Data', 'Origem dos dados', 'Máxima (mm)', 'Total (mm)', 'Dia máxima', and 'Dias de chuva'. The table contains 1791 rows of data, with the first few rows showing data for the year 2000 and the last few rows showing data for the year 1998. The 'Repetido' column contains the text 'Não Existe' for all rows. The 'Estação' column contains the code '00937013'. The 'Nível de consistência' column contains the text 'Bruto'. The 'Data' column shows dates from 02/2000 down to 01/1998. The 'Origem dos dados' column contains the text 'Pluviometro'. The 'Máxima (mm)' column shows values ranging from 0.0 to 83.8. The 'Total (mm)' column shows values ranging from 0.0 to 143.3. The 'Dia máxima' column shows values ranging from 04 to 27. The 'Dias de chuva' column shows values ranging from 00 to 08.

Repetido	Estação	Nível de consistência	Data	Origem dos dados	Máxima (mm)	Total (mm)	Dia máxima	Dias de chuva
▶ Não Existe	00937013	Bruto	02/2000	Pluviometro	83,8	143,3	04	08
▶ Não Existe	00937013	Bruto	01/2000	Pluviometro	5,4	7,6	21	02
▶ Não Existe	00937013	Bruto	12/1999	Pluviometro	52,2	81,8	20	05
▶ Não Existe	00937013	Bruto	11/1999	Pluviometro	121,3	160,3	17	04
▶ Não Existe	00937013	Bruto	10/1999	Pluviometro	10,2	41,9	14	07
▶ Não Existe	00937013	Bruto	09/1999	Pluviometro	6,2	15,8	27	04
▶ Não Existe	00937013	Bruto	08/1999	Pluviometro	11,5	20,1	18	04
▶ Não Existe	00937013	Bruto	07/1999	Pluviometro	9,3	38,0	07	09
▶ Não Existe	00937013	Bruto	06/1999	Pluviometro	5,9	17,4	09	06
▶ Não Existe	00937013	Bruto	05/1999	Pluviometro	22,7	64,7	24	08
▶ Não Existe	00937013	Bruto	04/1999	Pluviometro	0,0	0,0	01	00
▶ Não Existe	00937013	Bruto	03/1999	Pluviometro	0,0	0,0	01	00
▶ Não Existe	00937013	Bruto	02/1999	Pluviometro	13,7	13,7	08	01
▶ Não Existe	00937013	Bruto	01/1999	Pluviometro	14,1	14,1	11	01
▶ Não Existe	00937013	Bruto	12/1998	Pluviometro	1,8	1,8	02	01
▶ Não Existe	00937013	Bruto	11/1998	Pluviometro	0,0	0,0	01	00
▶ Não Existe	00937013	Bruto	10/1998	Pluviometro	1,5	1,5	01	01
▶ Não Existe	00937013	Bruto	09/1998	Pluviometro	2,8	4,1	13	02
▶ Não Existe	00937013	Bruto	08/1998	Pluviometro	3,8	13,9	22	06
▶ Não Existe	00937013	Bruto	07/1998	Pluviometro	5,6	38,8	13	11
▶ Não Existe	00937013	Bruto	06/1998	Pluviometro	18,1	70,7	08	11
▶ Não Existe	00937013	Bruto	05/1998	Pluviometro	3,2	8,7	09	05
▶ Não Existe	00937013	Bruto	04/1998	Pluviometro	1,3	2,5	13	02
▶ Não Existe	00937013	Bruto	03/1998	Pluviometro	11,2	11,2	12	01
▶ Não Existe	00937013	Bruto	02/1998	Pluviometro	0,0	0,0	01	00
▶ Não Existe	00937013	Bruto	01/1998	Pluviometro	6,5	8,1	02	02

Fonte: Autor (2024).

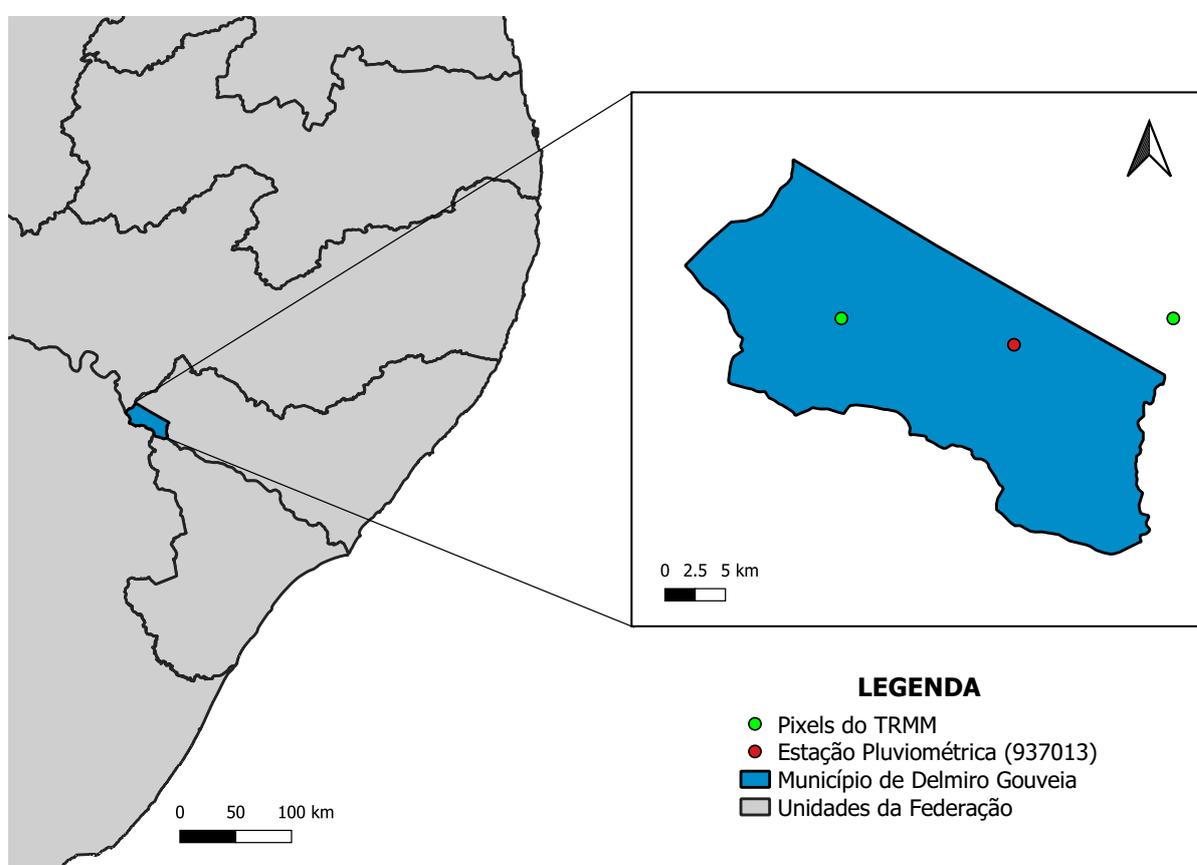
4.3.2 TRMM

Os dados pluviométricos de satélite foram obtidos a partir da plataforma GES DISC (NASA GSFC, 2018). Neste trabalho, utilizou-se o produto *TRMM 3B42 V7*, de resolução espacial $0,25^\circ \times 0,25^\circ$ e intervalo de tempo entre as amostras de 3 horas. O período de dados

selecionado foi de janeiro de 1998 a dezembro de 2018, assim como feito para dados de pluviômetro.

Devido à geografia de Delmiro Gouveia e à característica de resolução espacial do satélite, o município não é totalmente coberto por um único *pixel* de resolução espacial do TRMM. Neste trabalho, coletou-se os dados de dois *pixels* que cobrem boa parte do território da cidade. A Figura 19 mostra a localização central dos *pixels* e a localização do posto pluviométrico em mapa.

Figura 19 – Localização dos *pixels* e pluviômetro em Delmiro Gouveia.



Fonte: Autor (2024).

Os dados pluviométricos do TRMM foram baixados no formato *Hierarchical Data Format* (.HDF) e precisaram ser transformados em formato .TXT. Utilizou-se o código em MATLAB desenvolvido por Collischonn (2006) e disponível no Anexo A para transformar os dados do formato HDF para arquivo em texto.

Devido ao intervalo das amostras do satélite ser a cada 3 horas, necessitou-se transformar esses dados horários em dados diários. Para isso, utilizou-se o código em R, disponível no Apêndice B, que realiza essa transformação, além de corrigir qualquer erro nos dados, indicado por uma precipitação de valor -9999.

Os dados diários de chuvas gerados pelo código em R foram organizados em uma planilha no programa *Excel*. Como foram baixados dados de dois *pixels*, necessitou-se realizar uma correlação com os dados dos pluviômetros para a escolha dos dados a serem utilizados no decorrer do trabalho. A correlação foi feita no Excel e o *pixel* escolhido é o que está dentro do território do município, como mostra a Figura 19.

4.4 Simulação

Para a simulação do dimensionamento dos reservatórios com dados de chuva de pluviômetros e satélite, utilizou-se o Método da Simulação, presente na NBR 15527 : 2007 (ABNT, 2007). O método utiliza a equação da continuidade a um reservatório finito, com as seguintes equações:

$$s_{(t)} = q_{(t)} + s_{(t-1)} - D_{(t)} \quad (1)$$

$$q_{(t)} = C \cdot P_{(t)} \cdot A \quad (2)$$

sendo que $0 \leq s_{(t)} \leq V$. Onde:

- $s_{(t)}$ é o volume de água no reservatório no tempo t (m^3);
- $s_{(t-1)}$ é o volume de água no reservatório no tempo $t - 1$ (m^3);
- $q_{(t)}$ é o volume de chuva no tempo t (m^3);
- $D_{(t)}$ é o consumo ou demanda no tempo t (m^3);
- V é o volume de reservatório fixado (m^3);
- C é o coeficiente de escoamento superficial;
- $P_{(t)}$ é a precipitação coletada no tempo t (mm);
- A é a área de de captação (m^2).

Neste método, leva-se em consideração que o reservatório está cheio no no início da contagem do tempo “ t ” e que os dados históricos são representativos para as condições futuras. A evaporação da água não é levada em conta neste método. Com base no volume de água, tem-se as seguintes situações:

- se $s_{(t)} < 0$, considera-se uma falha e $s_{(t)} = 0$;
- se $s_{(t)} > V$, considera-se um extravasamento e $s_{(t)} = V$;

- se $0 \leq s_{(t)} \leq V$, utiliza-se o volume encontrado para $s_{(t)}$.

Com base nas equações do método das simulação e suas condições, foi desenvolvido um código em R, disponível no Apêndice A, para avaliar o comportamento do dimensionamento com dados de pluviômetros e TRMM, utilizando diferentes volumes fixos de reservatórios conforme variável V . Utilizou-se os dados da Tabela 1 para as variáveis necessárias do método. O percentual de falha foi calculado utilizando a seguinte equação:

$$F (\%) = \frac{f \cdot 100}{d} \quad (3)$$

onde:

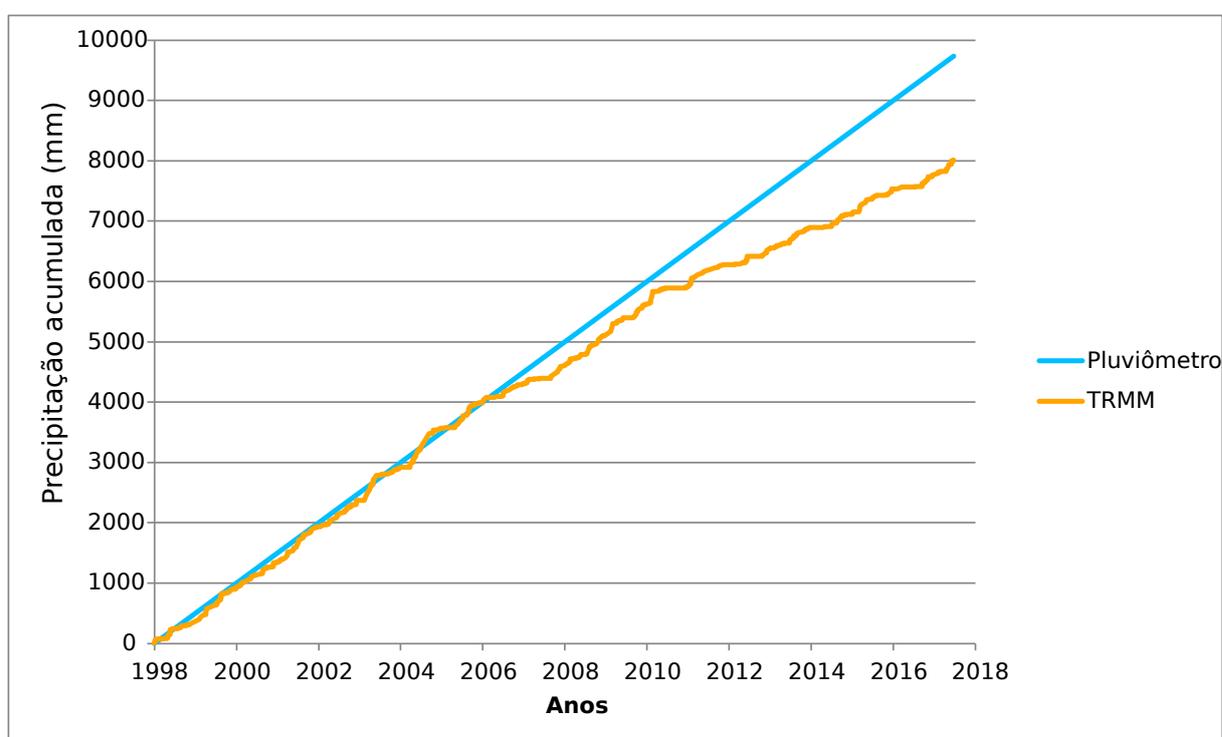
- F é o percentual de falhas da simulação;
- f é o total de dias de falhas da simulação;
- d é o total de dias da série histórica

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Análise das Precipitações

Com os dados de chuva coletados por pluviômetro e satélite organizados em planilha eletrônica, foi possível analisar o comportamento das chuvas no período entre 1998 a 2018 para ambos os métodos de obtenção dos dados. A Figura 20 mostra o gráfico de acúmulo de precipitação de todo o período analisado para os dois métodos de coleta.

Figura 20 – Gráfico de precipitação acumulada.



Fonte: Autor (2024).

Conforme verifica-se no gráfico da Figura 20, embora os dados do TRMM tenham mantido alta similaridade nos anos iniciais, a tendência geral é de subestimar a quantidade de chuvas. No período analisado, a precipitação total por pluviômetros totalizou 9735,6 mm, enquanto que a precipitação por TRMM totalizou 8007,4 mm. Essa diferença impacta diretamente no dimensionamento dos reservatórios, pois uma das variáveis é o volume de chuva, conforme visto na Seção 4.4.

Para analisar o comportamento do total de chuvas por ano durante o período analisado, elaborou-se o gráfico da Figura 21, que mostra o total anual de precipitação para ambos os métodos de coleta de dados. Percebe-se que há uma alta semelhança entre os dados de pluviômetros e

satélite até o ano de 2009, com uma subestimativa por parte do TRMM no ano de 2007.

Figura 21 – Gráfico de precipitação anual.



Fonte: Autor (2022).

No entanto, para o período entre 2010 a 2018, percebe-se uma grande redução no total de precipitação tanto nos dados obtidos por pluviômetro quanto nos dados obtidos pelo TRMM, sendo que este subestima o total de chuvas por quase todo o período, se aproximando dos dados de pluviômetro apenas em 2018. Esse comportamento é condizente com o que foi visto na Figura 20.

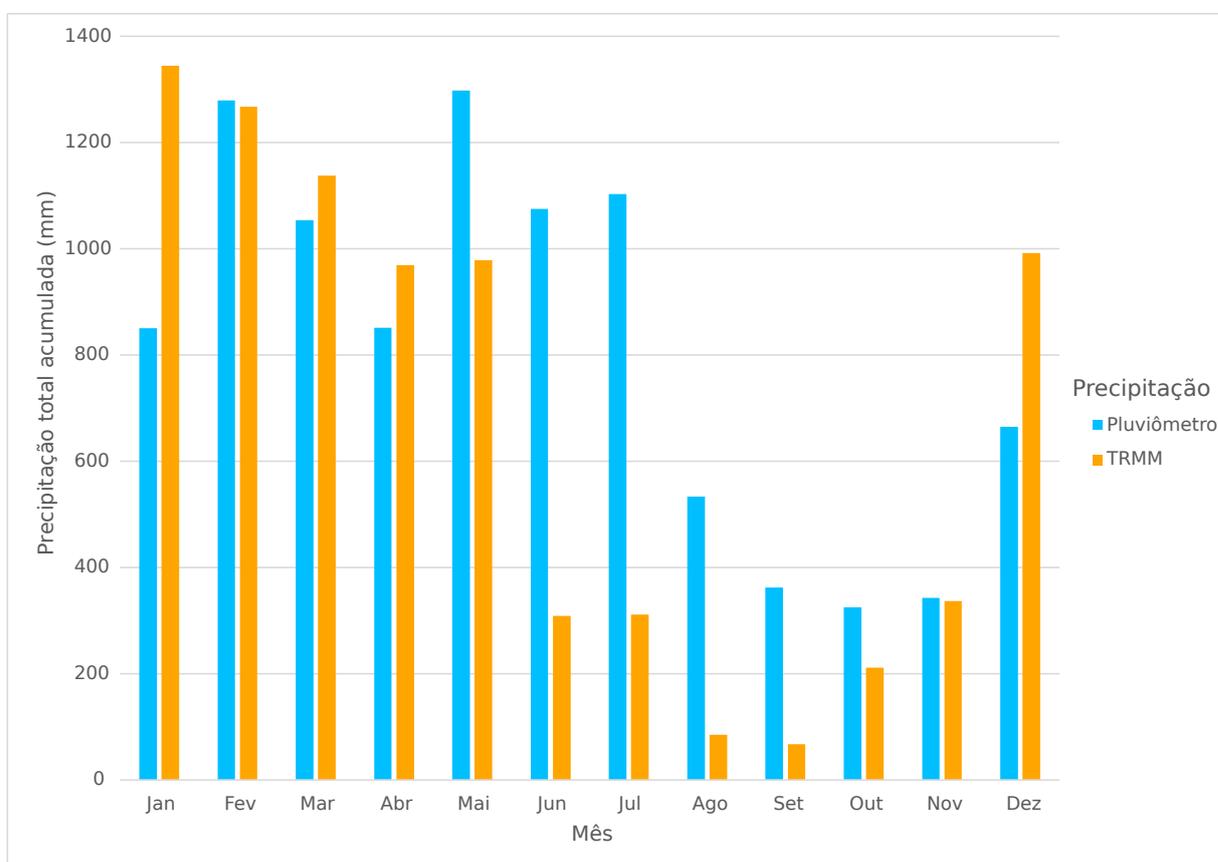
O período de 2010 a 2016 é considerado como um período de estiagem para a região do nordeste (LIMA; MAGALHÃES, 2018). Conforme visto no gráfico da Figura 21, embora 2010 e 2011 sejam anos chuvosos, os anos seguintes possuem precipitação muito abaixo dos valores obtidos em anos anteriores, chegando ao valor de 201,3 mm e 88,7 mm para dados de pluviômetro e satélite, respectivamente, no ano de 2012. O TRMM subestimou os valores de chuva durante todo o período de estiagem, inclusive nos anos de 2010, 2011 e 2017.

O período entre 1997 e 1999 também é considerado um período de estiagem, segundo Lima e Magalhães (2018). Neste período, a seca foi ainda mais intensa, com o valor de 161,3 mm e 117,33 mm de precipitação anual para dados de pluviômetro e satélite, respectivamente, no ano

de 1998. O TRMM também subestimou o total de chuvas entre 1998 e 1999, mas as diferenças entre os métodos de coleta foram menores neste caso.

Para analisar o comportamento do total de chuvas por mês durante o período analisado, elaborou-se o gráfico da Figura 22, que mostra o total acumulado de precipitação em cada mês para ambos os métodos de coleta. Conforme verifica-se no gráfico da Figura 22, para os dados de pluviômetro, o primeiro semestre do ano concentra os meses com maiores valores de precipitação, enquanto que o segundo semestre concentra os meses mais secos (PEREIRA *et al.*, 2012).

Figura 22 – Gráfico de acúmulo de precipitação mensal.



Fonte: Autor (2022).

O TRMM tende a subestimar a quantidade total de precipitação nos meses mais secos do ano, entre agosto a novembro, além de subestimar o total de chuvas nos meses de junho e julho. Essas subestimativas impactam diretamente no gráfico de acúmulo de chuvas da Figura 20 e mostram como o período de estiagem impactou a coleta de dados por satélite nos meses com menos chuvas e afetou a coleta nos meses de junho e julho. O satélite superestimou a quantidade de chuvas nos meses de dezembro e janeiro e manteve certa similaridade nos meses de fevereiro a maio.

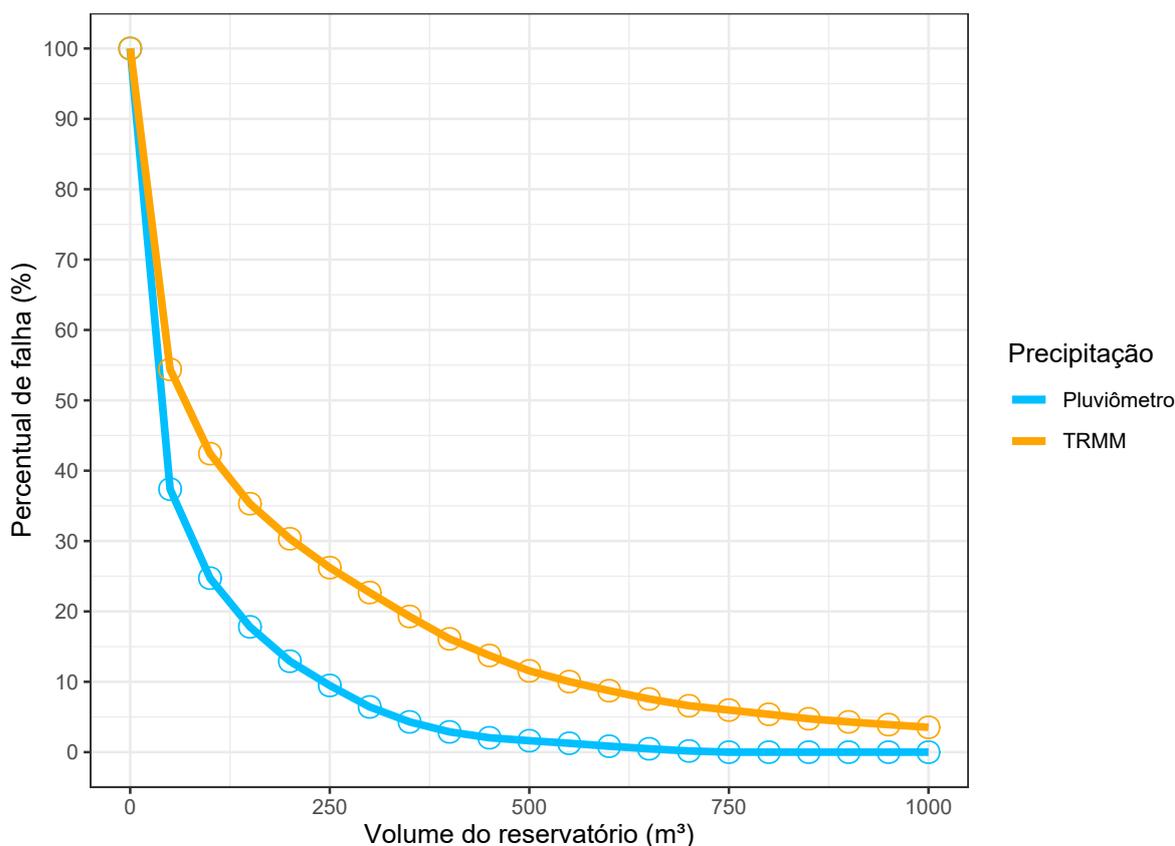
5.2 Análise dos Reservatórios

5.2.1 Campus do Sertão

Para analisar se os dados do TRMM são capazes de dimensionar de maneira satisfatória o volume necessário de um reservatório para o aproveitamento de águas de chuva no Campus do Sertão, utilizou-se o algoritmo desenvolvido em R, disponível no Apêndice A, para comparar o tamanho do reservatório dimensionado por dados de pluviômetro e do satélite.

O algoritmo necessita da área de cobertura, coeficiente de escoamento superficial e demanda de água não potável para os cálculos. Para o Campus do Sertão, foram utilizados os dados presentes na Tabela 1. O volume máximo para a simulação foi fixado em $1000 m^3$, com acréscimos de $50 m^3$ para cada iteração. Neste caso, considerou-se também que o consumo ocorre de maneira intermitente entre os dias. A Figura 23 mostra o resultado da simulação.

Figura 23 – Gráfico de percentual de falhas para o Campus do Sertão.



Fonte: Autor (2022).

Conforme verifica-se no gráfico da Figura 23, o TRMM possui um percentual de falha elevado quando comparado com o percentual do pluviômetro para o mesmo volume. Considerando 10% de falhas como o percentual ideal, percebe-se que os dados do TRMM necessitam

de um volume de reservatório com pouco mais que o dobro de volume quando comparado com o volume encontrado usando dados de pluviômetro. Para analisar melhor essas diferenças, a Tabela 2 foi elaborada, mostrando a diferença percentual entre os volumes de reservatórios para valores fixos de percentual de falhas.

Tabela 2 – Diferença percentual entre dados de pluviômetro e TRMM para o Campus do Sertão

Percentual de falha	Volume em m^3 (Pluviômetro)	Volume em m^3 (TRMM)	Diferença percentual
10%	240	550	129,17%
15%	175	420	140,00%
20%	130	335	157,69%
25%	95	265	178,95%
30%	70	200	185,71%
35%	55	150	172,73%
40%	40	110	175,00%
45%	30	85	183,33%
50%	25	65	160,00%

Fonte: Autor (2022).

Para gerar os dados da Tabela 2, o volume máximo para a simulação foi fixado em $1000 m^3$, com acréscimos de $5 m^3$ para cada iteração. Conforme verifica-se na Tabela 2, para o percentual de falha de 10%, há uma diferença de 129,17% entre o volume do reservatório dimensionado por dados do TRMM e pluviômetro, sendo pouco mais que o dobro do valor encontrado por este. Esse comportamento se repete para percentuais de falha maiores, onde os reservatórios dimensionados utilizando os dados do TRMM necessitam do dobro da capacidade de armazenamento quando comparado aos reservatórios dimensionados pelos dados de pluviômetro. Para o percentual de falha de 30%, temos a maior diferença entre os dois, com 185,71% de diferença percentual, quase o triplo do volume encontrado pelos dados de pluviômetro.

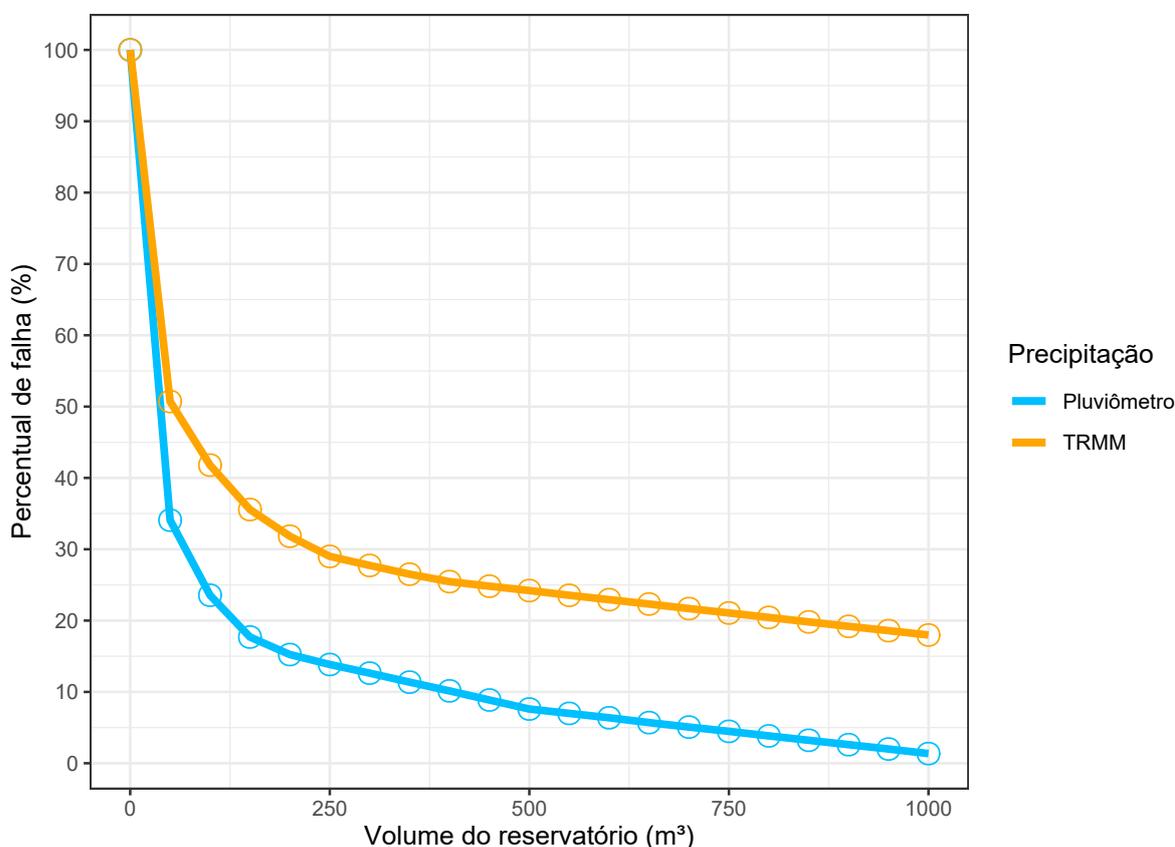
Conforme visto na Seção 5.1, há uma diferença considerável entre o total de precipitação obtidos por pluviômetros e satélite. Essa diferença teve um impacto significativo no dimensionamento dos reservatórios considerando os dados do TRMM e, por isso, torna-se inviável a utilização dos dados de satélite para o dimensionamento de reservatórios para o objeto estudado.

5.2.2 Hotel Aline

Similar à metodologia da Seção anterior, analisou-se o desempenho dos dados do satélite no dimensionamento de reservatório para um hotel de pequeno porte. Os dados utilizados para a simulação estão presentes na Tabela 1. O volume máximo para a simulação foi fixado em

1000 m^3 , com acréscimos de 50 m^3 para cada iteração. Considerou-se também que o consumo é diário, sem intermitência entre usos. A Figura 24 mostra o resultado da simulação.

Figura 24 – Gráfico de percentual de falhas para o Hotel Aline.



Fonte: Autor (2022).

Conforme verifica-se no gráfico da Figura 24, novamente o TRMM apresenta um percentual de falha elevado se comparado com o percentual do pluviômetro para o mesmo volume. Diferentemente do caso do Campus do Sertão, os dados do satélite não foram capazes de atingir baixos percentuais de falha, na casa dos 10%, para o volume máximo especificado. Os volumes encontrados pelos dados do pluviômetro são maiores se comparado aos valores do Campus devido à alta demanda diária do Hotel.

Para analisar melhor as diferenças entre os reservatórios dimensionados, a Tabela 3 foi elaborada, mostrando a diferença percentual entre os volumes de reservatórios para valores fixos de percentual de falhas. Para gerar os dados da Tabela 3, o volume máximo para a simulação foi fixado em 1000 m^3 , com acréscimos de 5 m^3 para cada iteração. Conforme verifica-se na Tabela 3, o TRMM não atingiu percentuais de falha abaixo dos 20% para o volume máximo especificado. Embora a tendência é da diminuição do percentual de falha com o aumento do volume máximo, conforme visto na Figura 24, valores impraticáveis seriam necessários para

atingir esses menores valores, indo além dos $1000 m^3$ estabelecidos, que já é um valor alto.

Tabela 3 – Diferença percentual entre dados de pluviômetro e TRMM para o Hotel Aline

Percentual de falha	Volume em m^3 (Pluviômetro)	Volume em m^3 (TRMM)	Diferença percentual
10%	405	-	-
15%	205	-	-
20%	120	835	595,83%
25%	90	435	383,33%
30%	65	225	246,15%
35%	45	155	244,44%
40%	30	110	266,67%
45%	20	75	275,00%
50%	15	50	233,33%

Fonte: Autor (2022).

Para percentuais de falha acima dos 20%, percebe-se que a diferença percentual tende a se manter muito acima dos valores encontrados para o Campus. Para 30% de falhas, a diferença percentual é de 246,15%, mais que o triplo do valor encontrado utilizando dados de pluviômetro. Já para 20% de falhas, esse valor salta para 595,93%. Essas diferenças são ainda mais significativas do que as obtidas para o Campus do Sertão, inviabilizando a utilização de dados do satélite para o dimensionamento de reservatórios para o objeto estudado.

Embora o Hotel Aline tenha uma área de cobertura e consumos menores se comparado com o Campus do Sertão, a demanda diária do hotel junto com o menor total de precipitação obtidos pelo satélite foram os principais influenciadores dos resultados obtidos, indicando que esses fatores são as principais variáveis para o dimensionamento dos reservatórios.

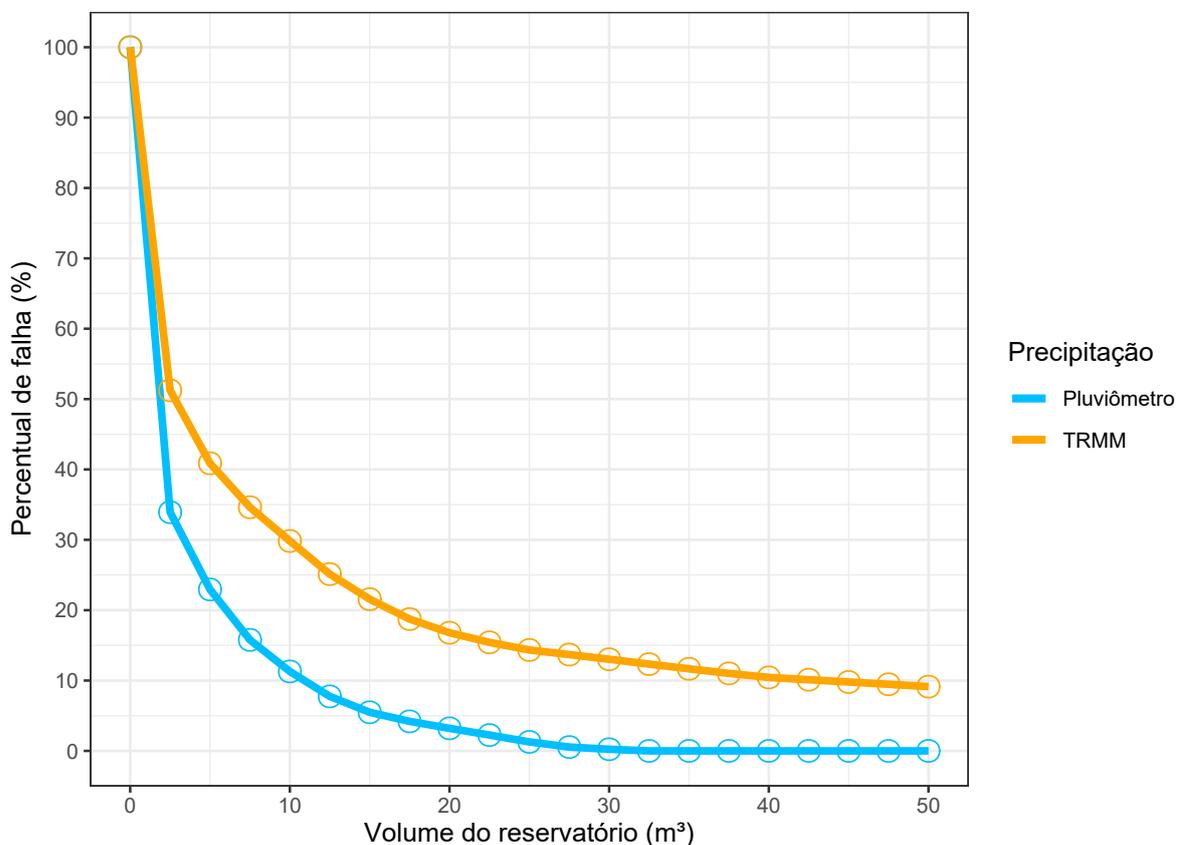
5.2.3 Residência Unifamiliar

Continuando as comparações, com a mesma metodologia das seções anteriores, analisou-se o desempenho do satélite no dimensionamento de um reservatório para uma residência unifamiliar. Os dados utilizados para a simulação estão presentes na Tabela 1. O volume máximo para a simulação foi fixado em $50 m^3$, por causa da baixa demanda, com acréscimos de $2,5 m^3$ para cada iteração. Considerou-se também que o consumo é diário, sem intermitência entre os usos. A Figura 25 mostra o resultado da simulação.

Conforme verifica-se no gráfico da Figura 25, novamente os dados do TRMM apresentam um percentual de falha elevado quando comparado com o percentual com dados de pluviômetro para o mesmo volume, situação esperada dado os resultados obtidos nas seções anteriores. Diferentemente dos casos anteriores, para volumes maiores que $30 m^3$, o percentual de falhas é

praticamente nulo para os dados de pluviômetro, enquanto que os dados de TRMM apresentam uma leve tendência de diminuição do percentual.

Figura 25 – Gráfico de percentual de falhas para a residência unifamiliar.



Fonte: Autor (2022).

Para analisar melhor as diferenças entre os reservatórios dimensionados, a Tabela 4 foi elaborada, mostrando a diferença percentual entre os volumes de reservatórios para valores fixos de percentual de falhas. Para gerar os dados da Tabela 4, o volume máximo para a simulação foi fixado em $50 m^3$, com acréscimos de $0,5 m^3$ para cada iteração.

Tabela 4 – Diferença percentual entre dados de pluviômetro e TRMM para a residência unifamiliar

Percentual de falha	Volume em m^3 (Pluviômetro)	Volume em m^3 (TRMM)	Diferença percentual
10%	10	43	330,00%
15%	7,5	23	206,67%
20%	5,5	16	190,91%
25%	4	12,5	212,50%
30%	3	9,5	216,67%
35%	2,5	7	180,00%
40%	2	5	150,00%
45%	1,5	4	166,67%
50%	1	2,5	150,00%

Fonte: Autor (2022).

Conforme verifica-se na Tabela 4, embora os volumes encontrados sejam menores se comparado com os empreendimentos anteriores, as diferenças percentuais ainda permanecem altas. Para um total de falhas de 10%, a diferença percentual entre os reservatórios dimensionados por satélite e pluviômetro é de 330,00%, o maior valor para o caso da residência.

Reservatórios comerciais com 3 e 5 m^3 de volume são comuns no Brasil (FORTLEV, 2020). Com base no tamanho desses reservatórios de varejo, duas unidades de 5 m^3 seriam suficientes para as falhas ficarem em torno de 10% com base nos dados dos pluviômetros. Os dados do TRMM, no entanto, necessitam de 8 unidades de 5 m^3 para chegar em percentual semelhante. Mesmo com volumes menores, os dados do TRMM ainda superestimam o volume dos reservatórios, inviabilizando sua utilização para o dimensionamento.

6 CONCLUSÃO

Neste trabalho, analisou-se o desempenho dos dados de precipitação obtidos pelo satélite TRMM em dimensionar reservatórios para aproveitamento da água de chuva em comparação com dados obtidos a partir de pluviômetros para três estabelecimentos na cidade de Delmiro Gouveia - AL.

Os dados de precipitação obtidos pelo satélite apresentaram uma tendência geral de subestimar o total de precipitação para o período analisado, entre 1998 e 2018, quando comparado com os dados de pluviômetros. Além disso, o TRMM apresenta uma tendência de superestimar a precipitação durante os meses mais chuvosos e subestimar nos períodos mais secos do ano. Esse comportamento é observado em outros trabalhos para a região, como visto em Lima *et al.* (2021) e Santana *et al.* (2018). Verifica-se na literatura que o satélite também tende a subestimar a quantidade de precipitação para região Nordeste do Brasil, como visto nos trabalhos de Rozante *et al.* (2010) e Cruz *et al.* (2018).

Os resultados do trabalho mostram que os dados obtidos pelo satélite não são capazes de dimensionar os reservatórios de maneira satisfatória para os três objetos de estudo. Todos os três estabelecimentos apresentaram grandes diferenças entre reservatórios dimensionados por dados de satélite e pluviômetro, com diferenças de mais de 100% para todos os casos analisados. Além disso, verificou-se que o consumo diário e o total de precipitação são as variáveis que mais impactam no volume final do reservatório dimensionado.

Vale lembrar que os resultados encontrados são pontuais e específicos apenas para a cidade de Delmiro Gouveia. O comportamento do dimensionamento por dados de satélite deve ser explorado para outras regiões do país para analisar sua eficácia. Além disso, sugere-se a utilização dos dados do satélite GPM (*Global Precipitation Measurement*), sucessor do TRMM e que tende a apresentar dados mais precisos de precipitação, para o dimensionamento dos reservatórios.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **HidroWeb**. Brasília, 2022. Disponível em: <<https://www.snirh.gov.br/hidroweb/apresentacao>>. Acesso em: 2 ago. 2021.
- ALCÂNTARA JÚNIOR, Almir César de. **Viabilidade Técnica e Econômica de Implantação de um Sistema de Aproveitamento de Água Pluvial no Campus Sertão da Universidade Federal de Alagoas**. 123 p. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil) — Universidade Federal de Alagoas, Delmiro Gouveia, 2016.
- ALMEIDA, Dilton Brandão de. **Utilização de radar meteorológico e disdrômetro na previsão da vazão da bacia hidrográfica do rio mundaú**. 64 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) — Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2015.
- ANNECCHINI, Karla Ponzo Vaccari. **Aproveitamento da água da chuva para fins não potáveis na cidade de Vitória (ES)**. 150 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) — Universidade Federal do Espírito Santo, Centro Tecnológico, Vitória, 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10844**: Instalações prediais de águas pluviais — Procedimento. Rio de Janeiro, 1989. 13 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15527**: Água de chuva — Aproveitamento de cobertura em áreas urbanas para fins não potáveis — Requisitos. Rio de Janeiro, 2007. 8 p.
- BATISTA, Lucas Mota; NAHUM, João Santos. Potencial de aproveitamento de água de chuva para abastecimento unifamiliar no estado do Pará-Amazônia oriental. **Revista GeoAmazônia**, Belém, v. 11, n. 21, p. 55–73, 2023. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.18542/geo.v11i21.14985>>.
- BOOKING.COM. **Bristol Aline**. 2022. Disponível em: <<https://www.booking.com/hotel/br/aline-delmiro-gouveia.pt-br.html>>. Acesso em: 3 mai. 2022.
- BRITO, Luiza Teixeira de Lima; SILVA, Aderaldo de Souza; PORTO, Everaldo Rocha. Disponibilidade de água e a gestão dos recursos hídricos. In: **Potencialidades da água de chuva no Semi-Árido brasileiro**. 1. ed. Petrolina: Embrapa Semi-Árido, 2007. p. 15–32.
- CAETANO, Tiago Oliveira; PAIVA, Anderson Luiz Ribeiro de; SILVA, Simone Rosa da; COUTINHO, Artur Paiva; CIRILO, José Almir; CABRAL, Jaime Joaquim da Silva Pereira. Abastecimento rural de água: uso e demanda em comunidades do Semiárido e a disponibilidade hídrica das aluviões. **Revista de Gestão de Água da América Latina**, Porto Alegre, v. 17, n. 2020, 2021.
- CARVALHO, Daniel F.; MELLO, Jorge L. P.; SILVA, Leonardo D. B. **Apostila de Hidrologia**. 1. ed. Rio de Janeiro: Editora UFRRJ, 2007.
- CIDADE BRASIL. **Município de Delmiro Gouveia**. 2021. Disponível em: <<https://www.cidadebrasil.org.br/municipio/delmiro-gouveia>>.

[//www.cidade-brasil.com.br/municipio-delmiro-gouveia.html](http://www.cidade-brasil.com.br/municipio-delmiro-gouveia.html)>. Acesso em: 3 mai. 2022.

COLLISCHONN, Bruno. **Uso de precipitação estimada pelo satélite TRMM em modelo hidrológico distribuído**. 193 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) — Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

COLLISCHONN, Walter; DORNELLES, Fernando. **Hidrologia para Engenharia e Ciências Ambientais**. 1. ed. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2015.

COSTA, Samir Gonçalves Fernandes. **Análise espaço-temporal de chuvas na Paraíba utilizando estimativas do satélite TRMM**. 119 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) — Universidade Federal da Paraíba, Paraíba, 2017.

CRUZ, Marcus Aurélio Soares; ROCHA, Leonardo Teixeira; ARAGÃO, Ricardo de; ALMEIDA, André Quintão de. Applicability of TRMM Precipitation for Hydrologic Modeling in a Basin in the Northeast Brazilian Agreste. **Revista Brasileira de Meteorologia**, Rio de Janeiro, v. 33, n. 1, p. 57–64, 2018. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/0102-7786331013>>.

DAMASCENO, Henrique; BASSINI, Ailton Marcos; PUSCEDDU, Luca Hermes. **Tudo são ondas: Espectro Eletromagnético**. 2021. Disponível em: <<https://www.parquecientec.usp.br/passeio-virtual/tudo-sao-ondas/o-espectro-eletromagnetico>>. Acesso em: 3 ago. 2024.

FENSTERSEIFER, Cesar Augusto Jarutais. **Qualidade das estimativas de precipitações derivadas de satélites na bacia do Alto Jacuí - RS**. 126 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) — Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2013.

FLORENZANO, Teresa Gallotti. **Iniciação em Sensoriamento Remoto**. 3. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

FORTLEV. **Catálogo Técnico de Cisternas Fortlev**. Viana, 2020. 12 p. Disponível em: <<https://www.fortlev.com.br/wp-content/uploads/2020/02/Manual-Tecnico-Cisterna-Fortlev.pdf>>. Acesso em: 20 abr. 2022.

FRANCO, José Rafael. **Análise comparativa entre medidas meteorológicas da estação convencional e automática da fazenda Lageado no município de Botucatu - São Paulo - Brasil**. 77 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) — Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2021.

HELMREICH, B.; HORN, H. Opportunities in rainwater harvesting. **Desalination**, Garching, v. 248, n. 1-3, p. 118–124, 2009.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Demográfico**. Brasil, 2010. Disponível em: <<http://www.censo2010.ibge.gov.br>>.

JENSEN, John R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente: Uma Perspectiva em Recursos Terrestres**. 2. ed. São José dos Campos: Parêntese, 2009.

LIMA, José Roberdo de; MAGALHÃES, Antonio Rocha. Secas no nordeste: registros históricos

das catástrofes econômicas e humanas do século 16 ao século 21. **Parcerias Estratégicas**, Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, Brasília, v. 23, n. 46, p. 191–212, 2018.

LIMA, Stefany Gonçalves; OLIVEIRA, Wesley Matheus de; VIEIRA, Adriano dos Santos; SOUZA, Jonas Felipe Santos de; SANTANA, Rafael Silva Pereira de; PEREIRA, Thiago Alberto da Silva. Análise comparativa de tendência de secas em alagoas utilizando TRMM e pluviômetros. **XXIV SBRH - Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, Belo Horizonte, p. 10, 2021. Disponível em: <<https://anais.abrhidro.org.br/job.php?Job=13427>>.

LIONÇO, Angela; QUADROS, Luciana Espíndula de; ARAUJO, Fernanda Cristina; MELLO, Eloy Lemos de. Viabilidade da implantação de uma cisterna no CMEI Jacira Bongiollo Verona. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, São José dos Pinhais, v. 4, n. 3, p. 3396–3403, 2021.

LOUZADA, Franciane Lousada Rubini de Oliveira. **Balço hídrico climatológico com dados estimados pelo satélite *Tropical Rainfall Measuring Mission* para a bacia hidrográfica do Rio Doce**. 104 f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) — Universidade Federal do Espírito Santo, Campinas, 2016.

LUNA, Lenilda; BOLDRINO, Renner; MOTA, Manoel. **Ufal completa uma década de presença ativa no Sertão alagoano**. 2020. Disponível em: <<https://ufal.br/ufal/noticias/2020/3/ufal-completa-uma-decada-de-presenca-ativa-no-sertao-alagoano>>. Acesso em: 3 mai. 2022.

MARINHA DO BRASIL. **MB instala novo pluviógrafo em Ladário (MS) e reforça estudos na região**. 2017. Disponível em: <<https://www.marinha.mil.br/noticias/mb-instala-novo-pluviografo-em-ladario-ms-e-reforca-estudos-na-regiao>>. Acesso em: 1 dez. 2024.

MARINOSKI, Ana Kelly. **Aproveitamento de água pluvial para fins não potáveis em instituição de ensino: estudo de caso em Florianópolis - SC**. 61 f. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil) — Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

MAY, Simone. **Estudo da Viabilidade do Aproveitamento de Água de Chuva para Consumo não Potável em Edificações**. 159 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil) — Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

MOL, Juliana Maria Duarte. **Estimativa de Precipitação por meio de Sensoriamento Remoto**. 103 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) — Universidade de Brasília, Brasília, 2005.

MONTEIRO, Diana; BOLDRINO, Renner. **Radar Meteorológico da Ufal abrange raio de 400 km sobre previsão do tempo**. 2023. Disponível em: <<https://noticias.ufal.br/ufal/noticias/2023/3/radar-meteorologico-da-ufal-abrange-raio-de-400-km-sobre-previsao-do-tempo>>. Acesso em: 2 dez. 2024.

NASA Global Precipitation Measurement Mission. **TRMM Instruments**. NASA Goddard Earth Sciences Data and Information Services Center, 2024. Disponível em: <<https://gpm.nasa.gov/missions/TRMM/satellite>>. Acesso em: 8 ago. 2024.

NASCIMENTO, Denis Agüero do; OLIVEIRA, Mateus Ferreira de; DAMASCENO, Solange Batista; SOUZA FILHO, Elton Alves de; PEREIRA, Eric Leandro Silva; FERREIRA, Sávio José Filgueiras; SILVA, Joecila Santos da. Análise comparativa de dados pluviométricos de um pluviômetro e um pluviógrafo de báscula. **XXII SBRH - Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, Florianópolis, p. 8, 2017. Disponível em: <<https://anais.abrhidro.org.br/job.php?Job=2274>>.

OLIVEIRA JÚNIOR, Marcos Elias de. **Localização de Delmiro Gouveia no estado de Alagoas, Brasil**. Wikimedia Commons, 2011. Disponível em: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/5/53/Alagoas_Municip_DelmiroGouveia.svg/1261px-Alagoas_Municip_DelmiroGouveia.svg.png>. Acesso em: 2 mai. 2022.

OLIVEIRA JÚNIOR, Marcos Elias de. **Pluviômetro Ville-de-Paris**. Wikimedia Commons, 2017. Disponível em: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Pluvi%C3%B4metro_Ville-de-Paris.jpg>. Acesso em: 2 jun. 2023.

PEREIRA, Emerson Ricardo Rodrigues; FREITAS, Joherlan Campos de; ANDRADE, Antonio Ricardo Souza de; MACEDO, Monica Larissa Aires de; SILVA NETO, Manoel Faustino da. Variabilidade do número de dias de chuva no estado de Alagoas. **Applied Research & Agrotechnology**, v. 5, n. 1, p. 7–26, 2012. ISSN 1984-7548. Disponível em: <<https://revistas.unicentro.br/index.php/repaa/article/view/1696>>.

PETTY, Grant W. The status of satellite-based rainfall estimation over land. **Remote Sensing of Environment**, v. 51, n. 1, p. 125–137, 1995.

PIMENTEL, Leopoldo Serralha. **Dimensionamento de um sistema hidráulico predial para uso de águas pluviais em uma edificação de alto padrão**. 43 f. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil) — Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2021.

Precipitation Processing System (PPS) At NASA GSFC. **TRMM (TMPA) Rainfall Estimate L3 3 hour 0.25 degree x 0.25 degree V7**. NASA Goddard Earth Sciences Data and Information Services Center, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.5067/TRMM/TMPA/3H/7>>. Acesso em: 10 ago. 2018.

RODRIGUES, Gabriel Duarte Viana. **Análise Técnico-Econômica de um Sistema de Aproveitamento de Água Pluvial num Empreendimento do Setor Hoteleiro em Delmiro Gouveia-AL**. 61 p. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil) — Universidade Federal de Alagoas, Delmiro Gouveia, 2018.

RODRIGUES, Gabriel Duarte Viana; GUABIRABA, Danielly Karla Dantas; PEREIRA, Thiago Alberto da Silva. Estudo de viabilidade técnica para aproveitamento de águas pluviais em uma residência unifamiliar em Delmiro Gouveia-AL. **V Semana de Engenharia do Campus do Sertão**, Delmiro Gouveia, 2019.

ROZANTE, José Roberto; MOREIRA, Demerval Soares; FERNANDES, Alex de Almeida; BOAS NETO, Sylvio Villas. Desempenho dos produtos de estimativa de precipitação do TRMM sobre a América do Sul. **16. Congresso Brasileiro de Meteorologia**, Belém, 2010. Disponível em: <<https://urlib.net/ibi/8JMKD3MGP7W/38CDRPE>>.

SANT'ANA, Daniel Richard; PEREIRA, Miguel Leo Salomon de Almeida; SANTANA, Livia Ferreira. Potencial do aproveitamento de água de chuva e do reúso de água cinza em edificações de escritórios em Brasília-DF. **Simpósio Nacional de Sistemas Prediais**, Porto Alegre, v. 3, p. 167–176, 2023. Disponível em: <<https://doi.org/10.46421/sispred.v3.2984>>.

SANTANA, Rafael Silva Pereria de; DAMASCENO, Leandro Marinho; ALVES, Grazielly Silva; PEREIRA, Thiago Alberto da Silva. Análise comparativa entre dados de precipitação estimados pelo satélite TRMM e dados observados em superfície em Delmiro Gouveia - AL. **XIV SRHNE - Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste**, Maceió, p. 10, 2018. Disponível em: <<https://anais.abrhidro.org.br/job.php?Job=4478>>.

SILVA, Albert Einstein Lima da; SOUSA, Rita de Cassia Pompeu de. Desenvolvimento de uma estação meteorológica em software e hardware aberto. **Journal of Media Critiques**, v. 10, n. 26, p. 19, 2024. Disponível em: <<https://journalmediacritiques.com/index.php/jmc/article/view/64>>.

SILVA NETTO, Jovinião Pereira da. Panorama da gestão dos recursos hídricos no Brasil. **Revista Gestão e Sustentabilidade Ambiental**, Palhoça, v. 11, n. 2, p. 241–258, 2022.

SOUZA, Listefanny Vanessa de. **Aproveitamento de água de chuva em edificações: estudo de caso da Escola Municipal Antonio Alves Feitoza no Município de Camalaú-PB**. 28 f. Monografia (Tecnólogo em Construção de Edifícios) — Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, Monteiro, 2023.

STECCA, Kharen. **UFG estuda reaproveitamento da água da chuva**. 2020. Disponível em: <<https://jornal.ufg.br/n/133009-ufg-estuda-reaproveitamento-da-agua-da-chuva>>. Acesso em: 7 ago. 2024.

TUCCI, Carlos Eduardo Morelli. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. 2. ed. Porto Alegre: Editora UFRGS/ABRH, 2001.

UTFPR. **Dados Meteorológicos**. 2024. Disponível em: <<https://www.e-clima.fb.utfpr.edu.br/index.php>>. Acesso em: 1 dez. 2024.

WOLKMER, Maria de Fátima S.; PIMMEL, Nicole Freiberger. Política nacional de recursos hídricos: governança da água e cidadania ambiental. **Revista Sequência**, Florianópolis, n. 67, 2013. Disponível em: <<https://doi.org/10.5007/2177-7055.2013v34n67p165>>.

YOSHINO, Gabriel Hiromite. **O aproveitamento de água de chuva para fins não potáveis na cidade universitária professor José da Silveira Netto - Belém/PA**. 121 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) — Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará, Belém, 2012.

APÊNDICES

APÊNDICE A – ALGORITMO DE DIMENSIONAMENTO DE VOLUME DE RESERVATÓRIO PELO MÉTODO DA SIMULAÇÃO

```
#Carrega dados no R
library(readxl)
#Carrega o ggplot2
library(ggplot2)
#Leitura dos dados de chuva
dados <- read_excel("Dados do tcc.xlsx")
#Volume máximo do reservatório, em metros cúbicos
vol_max <- 1000
#Volume incremental, em metros cúbicos
vol_incremental <- 50
#Área de telhado, em metros quadrados
area <- 5598.28
#Coeficiente de escoamento superficial
c <- 0.9
#Demanda diária, em metros cúbicos
d <- 6.72
#Demanda intermitente: int = 0
int <- 0
#Total de dias de precipitação
dias <- nrow(dados)
#Erros
falha <- 0
extravasa <- 0
#Função para cálculo de vazão da precipitação do pluviômetro
P <- function(t){
  c * as.numeric(dados[t,1])/1000 * area
}
#Variável que guarda o percentual de falha em relação
#a diferentes volumes de reservatórios
resultados <- NULL
#volume de água no reservatório contando precipitação
```

```

# e demandas
s <- 0
for (vol in seq(0,vol_max,vol_incremental)) {
  for (t in 1:dias) {
    # Precipitação no dia t
    p <- P(t)
    # Correção caso o reservatório seja menor
    # que o volume de chuva
    if (p >= vol) {
      p <- vol
    }
    # Volume no primeiro dia de precipitação
    if (t==1) {
      s <- vol + p - d
    } else {
      # Volume dia ímpar
      if (t %% 2 == 1) {
        s <- s + p - d
      }
      # Volume dia par
      else {
        s <- s + p - int*d
      }
    }
  }
  # Verificações de falha e extravasamento
  if (s > vol) {
    s <- vol
    extravasa <- extravasa + 1
  } else if (s <= 0) {
    s <- 0
    falha <- falha + 1
  }
  percentual_falha <- falha/dias*100
}
resultados <- rbind(resultados, data.frame(vol,

```

```

percentual_falha))

falha <- 0
}
#Função para cálculo de vazão da precipitação do TRMM
P <- function(t){
  c * as.numeric(dados[t,2])/1000 * area
}
#Resultados do gráfico do TRMM
resultados_trmm <- NULL
falha <- 0
extravasa <- 0
s <- 0
for (vol in seq(0,vol_max,vol_incremental)) {
  for (t in 1:dias) {
    p <- P(t)
    if (p >= vol) {
      p <- vol
    }
    if (t==1) {
      s <- vol + p - d
    } else {
      if (t %% 2 == 1) {
        s <- s + p - d
      }
      else {
        s <- s + p - int*d
      }
    }
    if (s > vol) {
      s <- vol
      extravasa <- extravasa + 1
    } else if (s <= 0) {
      s <- 0
      falha <- falha + 1
    }
  }
}

```

```
    percentual_falha <- falha/dias*100
  }
  resultados_trmm <- rbind(resultados_trmm,
                           data.frame(vol,percentual_falha))

  falha <- 0
}
# Gráfico geral do pluviômetro e TRMM
gráfico <- ggplot() +
  geom_line(data = resultados, aes(vol, percentual_falha,
                                   colour = "Pluviômetro"),
            size = 1.5) +
  geom_point(data = resultados, aes(vol, percentual_falha),
             shape = 1, color = "deepskyblue", size = 4) +
  geom_line(data = resultados_trmm, aes(vol, percentual_falha,
                                         colour = "TRMM"),
            size = 1.5) +
  geom_point(data = resultados_trmm, aes(vol, percentual_falha),
             shape = 1, color = "orange", size = 4) +
  scale_color_manual(name = "Precipitação",
                    values = c("Pluviômetro" = "deepskyblue",
                              "TRMM" = "orange")) +
  scale_y_continuous(breaks = seq(0, 100, 10)) +
  xlab("Volume do reservatório (m³)") +
  ylab("Percentual de falha (%)") +
  theme_bw() +
  theme(plot.title = element_text(size = 20, face = "bold"))
```

APÊNDICE B – ALGORITMO PARA SOMAR AS PRECIPITAÇÕES HORÁRIAS DO TRMM EM DIAS

```
##### Início do código #####

# Pacotes necessários
library(readxl)

# Ano de obtenção dos dados
ano <- 1998

# Tabela com o número e o nome de arquivo dos pixels (formato XXXXYYYY.txt, onde x é a lati
arquivos <- read_excel("D:/TRMM/Arquivos.xlsx")

##### LOOP PARA LER TODOS OS PIXELS DA LISTA DE ARQUIVOS DO ANO #####

for (k in 1:nrow(arquivos))
{
  string <- paste("D:/TRMM/Anos/",ano,"/",
                 arquivos[k,2],".txt", sep="")
  dados <- read.table(string, quote = "\"", comment.char = "")

  # Substitui valores de erro dos dados do TRMM por zeros
  vetor_erros <- which(dados$V4 == -9999.00)
  for (i in 1:length(vetor_erros))
  {
    dados[vetor_erros[i],4] <- 0
  }

  # Retorna um vetor linha com a soma das precipitações diárias
  dimensoes_totais <- dim(dados)
  numero_linhas <- dimensoes_totais[1]
  numero_dias <- 365
  vetor_dias <- c(1)
```

```
j <- 1
for (i in 1:numero_dias) {
  vetor_dias[i] <- 0
}

for (i in 1:numero_dias) {
  while (j <= (numero_linhas - 1)) {
    if (dados[j,1] == dados[j + 1, 1]){
      extrai_precip <- dados[j,4]
      vetor_dias[i] <- vetor_dias[i] + extrai_precip
    }
    else {
      extrai_precip <- dados[j,4]
      vetor_dias[i] <- vetor_dias[i] + extrai_precip
      i = i + 1
    }
    j <- j + 1
  }
}

# Salvando o vetor soma em arquivo .txt
# Nome do arquivo: PIXEL [NUMERO] - ANO DO CONJUNTO DE DADOS
write(x = vetor_dias,
      file = paste("Pixel ",k, " - ", dados[1,3], ".txt", sep=""),
      ncolumns = 1)
}
```

ANEXOS

ANEXO A – CÓDIGO-FONTE DO PROGRAMA PARA LEITURA DE DADOS DO TRMM

```

% Este programa lê os arquivos do produto 3B42 do TRMM, no formato HDF,
% extrai as taxas de precipitação sobre a área quadrada e escreve as
% precipitações em arquivos .txt
% Baseado no código escrito por Bruno Collischonn em maio de 2005, adaptado
% por Rafael Santana e Thiago Pereira em 2011.

% Código corrigido em outubro de 2019 para evitar problemas com pontos
% flutuantes nas funções de dia, mês e ano em versões mais modernas
% do MATLAB.

% Limpa as variáveis no espaço de trabalho e a janela de comando
clear, clc

% Entra com os limites geográficos da área (Atenção: múltiplos de 0.25°!)
xmin = -38.50;
xmax = -35.00;
ymin = -10.75;
ymax = -8.75;

% Entra com a data de início da extração dos dados
dia_in = 1;
mes_in = 1;
ano_in = 2018; % Ano com 4 algarismos.
dia_fim = 31;
mes_fim = 12;
ano_fim = 2018; % Ano com 4 algarismos

% Aqui, há a conversão para colunas e linhas do TRMM (cresce de W para E
% e de S para N, a partir de 50°S e 180°W, com pixel de 0.25°)
cmin = (xmin+180)/.25+1;
cmax = (xmax+180)/.25;
lmin = (ymin+50)/.25+1;
lmax = (ymax+50)/.25;

% Datas iniciais e finais para extração dos dados dos arquivos .HDF
num_in = datetime(ano_in,mes_in,dia_in);
num_fim = datetime(ano_fim,mes_fim,dia_fim);

% Datas em formato numérico para utilização no processo iterativo
% Exemplo: a função datenum(2019,10,27) retorna o valor 737725
datenum_inicial = datenum(ano_in,mes_in,dia_in);
datenum_final = datenum(ano_fim,mes_fim,dia_fim);
nt = datenum_final-datenum_inicial+1;

```

```

%Define o tamanho da matriz
chst = zeros(cmax-cmin+1,lmax-lmin+1);

% Iterações de cálculo
for i=1:nt
    dia(i) = day(num_in+i-1);
    mes(i) = month(num_in+i-1);
    ano(i) = year(num_in+i-1);
    str_ano = num2str(year(i+num_in-1));
    str_mes = num2str(month(i+num_in-1)+100);
    str_dia = num2str(day(i+num_in-1)+100);
    % Extrai e escreve os valores dos arquivos hora 0 até hora 9
    for j=1:4
        abre_arq(j,:) = ['3B42.20' str_ano(3:4) str_mes(2:3) str_dia(2:3) '.0' num2str(3*j-3) '.7.HDF'];
        a = hdfread(abre_arq(j,:), 'precipitation');
        for l=lmin:lmax
            lat = l*0.25-50.125;
            for c = cmin:cmax
                long = c*0.25-180.125;
                if a(c,l)<0
                    a(c,l) = -9999;
                else
                    % integra a precipitação para acumulado de 3 horas
                    a(c,l) = 3*a(c,l);
                end
                % se for escrever o primeiro valor, cria o arquivo,
                % se não abre e escreve a partir do último valor
                if (i==1) & (j==1)
                    nome = [num2str(floor(abs(100*long))) num2str(floor(abs(100*lat))) '.txt'];
                    fid = fopen(nome, 'wt');
                    fprintf(fid, '%6d %5d %5d %11.2f\n', dia(i), mes(i), ano(i), a(c,l));
                    fclose(fid);
                else
                    nome = [num2str(floor(abs(100*long))) num2str(floor(abs(100*lat))) '.txt'];
                    fid = fopen(nome, 'at');
                    fprintf(fid, '%6d %5d %5d %11.2f\n', dia(i), mes(i), ano(i), a(c,l));
                    fclose(fid);
                end
            end
        end
    end
end
end

% Extrai e escreve os valores dos arquivos hora 12 até hora 21
for j=5:8
    abre_arq(j,:) = ['3B42.20' str_ano(3:4) str_mes(2:3) str_dia(2:3) '.' num2str(3*j-3) '.7.HDF'];
    a = hdfread(abre_arq(j,:), 'precipitation');
    for l=lmin:lmax

```

```
lat = l*0.25-50.125;
for c = cmin:cmax
    if a(c,l)<0
        a(c,l) = -9999;
    else
        a(c,l) = 3*a(c,l);
    end
    long = c*0.25-180.125;
    nome = [num2str(floor(abs(100*long))) num2str(floor(abs(100*lat))) '.txt'];
    fid = fopen(nome, 'at');
    fprintf(fid, '%6d %5d %5d %11.2f\n', dia(i), mes(i),ano(i), a(c,l));
    fclose(fid);
end
end
end
end
```