

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

RODRIGO EDUARDO MICHAOVSKI

**ASPECTOS TÉCNICOS, LEVANTAMENTO DE PARÂMETROS E
DESENVOLVIMENTO DE MÓDULO PARA ESTIMATIVA DA INTENSIDADE,
DURAÇÃO E FREQUÊNCIA DA PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA DE
LOCALIDADES BRASILEIRAS**

CURITIBA

2021

RODRIGO EDUARDO MICHAOVSKI

**ASPECTOS TÉCNICOS, LEVANTAMENTO DE PARÂMETROS E
DESENVOLVIMENTO DE MÓDULO PARA ESTIMATIVA DA INTENSIDADE,
DURAÇÃO E FREQUÊNCIA DA PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA DE
LOCALIDADES BRASILEIRAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do grau de Engenheiro Agrônomo no curso de graduação em Agronomia, Setor de Ciências Agrárias, Departamento de Solos e Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Professor Dr. Jorge Luiz Moretti de Souza

CURITIBA

2021

TERMO DE APROVAÇÃO**RODRIGO EDUARDO MICHAOVSKI****ASPECTOS TÉCNICOS, LEVANTAMENTO DE PARÂMETROS E
DESENVOLVIMENTO DE MÓDULO PARA ESTIMATIVA DA INTENSIDADE,
DURAÇÃO E FREQUÊNCIA DA PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA DE
LOCALIDADES BRASILEIRAS**

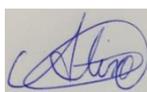
Trabalho apresentado como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheiro Agrônomo no curso de graduação em Agronomia, pela seguinte banca examinadora:



Orientador Professor Dr. Jorge Luiz Moretti de Souza
Departamento de Solos e Engenharia Agrícola
Setor de Ciências Agrárias



Doutoranda: M.Sc. Stefanie Lais Kreutz Rosa
Departamento de Solos e Engenharia Agrícola
Setor de Ciências Agrárias



Doutoranda: M.Sc. Aline Aparecida do Santos
Departamento de Solos e Engenharia Agrícola
Setor de Ciências Agrárias

Curitiba, 10 de dezembro de 2021

DEDICATÓRIA

“O que realmente importa na vida é o que se faz com o tempo que nos é dado.”

J. R. R. Tolkien

Dedico este trabalho de conclusão de curso aos meus pais, Donelson e Eni Michaovski, que durante toda minha vida me apoiaram em meus estudos.

AGRADECIMENTOS

- Agradeço a Deus por me permitir concluir mais uma etapa da minha vida;
- Agradeço à Universidade Federal do Paraná, por todas as oportunidades concedidas durante esse período de graduação;
- Agradeço à Coordenação do Curso de Engenharia Agrônômica, por sempre estarem disponíveis e dispostos a ajudar todos os alunos;
- Agradeço ao meu orientador, Prof. Jorge Luiz Moretti de Souza, por disponibilizar seu tempo para me ajudar finalizar essa importante etapa da minha graduação;
- Agradeço a minha irmã, Karin Michaovski Batschauer, por toda ajuda e conselhos;
- Agradeço a minha colega Letícia Krupa Mocelin, por ter iniciado esse projeto;
- Agradeço as doutorandas M.Sc. Stefanie Lais Kreutz Rosa e M.Sc. Aline Aparecida do Santos pelo tempo dedicado para avaliar este trabalho e pelas orientações para melhorá-lo.
- Também agradeço a todos aqueles que me ajudaram de qualquer forma a realizar esse sonho.

RESUMO

Realizou-se no presente trabalho uma revisão bibliográfica sobre o fenômeno das precipitações intensas, bem como sua importância para áreas urbanas e rurais, sendo descrito: *i*) Como é realizada a medição da quantidade (P) e intensidade (i) de precipitação pluviométrica em diferentes tipos de instrumentos, e quais são os órgãos brasileiros responsáveis por essas medidas; *ii*) Como a P é estimada com a utilização de radares e satélites; *iii*) As grandezas da P e i conforme as regiões brasileiras; *iv*) Os principais métodos utilizados para se estimar a i , considerando ou não a necessidade de série histórica para realizar a sua estimativa; e, *v*) Como são estimados/ajustados os parâmetros (a , b , c e d) utilizados no método “Intensidade-Duração-Frequência”. A parte final do trabalho consistiu no levantamento dos parâmetros a , b , c e d para diversas localidades brasileiras, com a finalidade de se criar um Módulo em planilha eletrônica que permitisse e facilitasse o cálculo da intensidade, duração e frequência de chuvas extremas. Com as informações levantadas, considerou-se sobre a importância do estudo das chuvas intensas, bem como a disparidade de dados encontrados entre as regiões do Brasil. Também foram apresentados os dados máximos, mínimos e as médias dos valores dos parâmetros a , b , c e d encontrados. O módulo constituído mostrou-se muito simples e funcional, sendo convenientemente descrito e exemplificado no texto quanto à sua forma de utilização.

Palavras-chave: chuvas intensas, parâmetros intensidade-duração-frequência.

ABSTRACT

In this present work a bibliographical review was done about the phenomenon of intense rainfall, as well as its importance for urban and rural areas, describing: *i*) How the measurement of the amount (P) and intensity (i) of rainfall is carried out in different types of instruments, and which agencies are responsible for this measure in Brazil; *ii*) How P is estimated using radar and satellites; *iii*) The magnitudes of P and i according to the Brazilian regions; *iv*) The main methods used to estimate i , considering or not the need for a historical series to estimate it; and, *v*) How the parameters (a , b , c and d) used in the “Intensity-Duration-Frequency” method are estimated/adjusted. The final part of the work consisted of surveying the parameters a , b , c and d for several Brazilian locations, with the purpose of creating a Module in an electronic spreadsheet that would allow and facilitate the calculation of the intensity, duration and frequency of extreme rains. With the information collected, it was considered the importance of studying intense rains, as well as the disparity of data found between regions of Brazil. The maximum, minimum and mean values of parameters a , b , c and d found were also presented. The constituted module proved to be very simple and functional, being conveniently described and exemplified in the text how to use it.

Keywords: intense rains, intensity-duration-frequency parameters.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

		Página
FIGURA 1	REDE DE ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS DO INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET).....	3
FIGURA 2	REDE DE ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS DO SISTEMA DE TECNOLOGIA E MONITORAMENTO AMBIENTAL DO PARANÁ (SIMEPAR).....	4
FIGURA 3	PRINCIPAIS TIPOS DE PLUVIÔMETROS ORDINÁRIOS: a) PLUVIÔMETRO VILLE DE PARIS; E, b) PLUVIÔMETROS HELMANN.....	6
FIGURA 4	ESQUEMA DE PLUVIÔMETROS TOTALIZADORES.....	6
FIGURA 5	PLUVIÓGRAFO TIPO BOIA E PLUVIOGRAMA.....	7
FIGURA 6	ESQUEMA DO PLUVIÓGRAFO TIPO BALANÇA.....	8
FIGURA 7	ESQUEMA DO PLUVIÓGRAFO TIPO BASCULANTE.....	9
FIGURA 8	ESQUEMA DE UM RADAR METEOROLÓGICO.....	10
FIGURA 9	SATÉLITE TRMM E SEUS INSTRUMENTOS.....	11
FIGURA 10	PRECIPITAÇÃO MÉDIA MENSAL NAS REGIÕES POLÍTICO ADMINISTRATIVAS BRASILEIRAS, ENTRE 1940 E 2012.....	13
FIGURA 11	PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA ANUAL NO ESTADO DO PARANÁ.....	14
FIGURA 12	CHUVAS INTENSAS NO BRASIL, COM DURAÇÃO DE 5, 30, 60 E 120 MIN, PARA O PERÍODO DE RETORNO DE CINCO ANOS.....	15
FIGURA 13	DELIMITAÇÃO DAS ISOZONAS DO BRASIL.....	17
FIGURA 14	CURVA EXPONENCIAL DECRESCENTE DA INTENSIDADE DE PRECIPITAÇÃO VS DURAÇÃO.....	20
FIGURA 15	DISTRIBUIÇÃO PERCENTUAL, POR REGIÃO BRASILEIRA, DO NÚMERO DE LOCALIDADES CONTENDO OS PARÂMETROS (<i>a</i> , <i>b</i> , <i>c</i> E <i>d</i>) DA EQUAÇÃO DE INTENSIDADE-DURAÇÃO-FREQUÊNCIA.....	24
FIGURA 16	INTERFACE DA ABERTURA DO MÓDULO “INTENSIDADE-DURAÇÃO-FREQUÊNCIA DA PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA PARA LOCALIDADES BRASILEIRAS”, DESENVOLVIDO EM UMA PLANILHA ELETRÔNICA.....	27
FIGURA 17	EXEMPLO DE USO DO MÓDULO “INTENSIDADE-DURAÇÃO-FREQUÊNCIA DA PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA PARA LOCALIDADES BRASILEIRAS”, PARA O CÁLCULO DA INTENSIDADE DA PRECIPITAÇÃO (<i>i</i>).....	28
FIGURA 18	EXEMPLO DE USO DO MÓDULO “INTENSIDADE-DURAÇÃO-FREQUÊNCIA DA PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA PARA LOCALIDADES BRASILEIRAS”, PARA O CÁLCULO DA DURAÇÃO DA PRECIPITAÇÃO (<i>t</i>).....	29
FIGURA 19	EXEMPLO DE USO DO MÓDULO “INTENSIDADE-DURAÇÃO-FREQUÊNCIA DA PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA PARA LOCALIDADES BRASILEIRAS”, PARA O CÁLCULO DO PERÍODO DE RETORNO (<i>T</i>).....	29
FIGURA 20	EXEMPLO DE USO DO MÓDULO “INTENSIDADE-DURAÇÃO-FREQUÊNCIA” DA PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA, QUANDO SE CHEGA AO CÁLCULO DE VALOR INCONSISTENTE: CÁLCULO DO PERÍODO DE RETORNO (<i>T</i>).....	30

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	2
2.1	Chuvas intensas: definição e importância	2
2.2	Órgãos responsáveis pela coleta de dados meteorológicos	3
2.3	Medida da quantidade e intensidade da precipitação pluviométrica	5
2.3.1	Tipos de pluviômetros.....	5
2.3.2	Tipos de pluviógrafos.....	7
2.3.3	Estimativa da precipitação pluviométrica por meio de radares e satélites	9
2.3.4	Medida da quantidade e intensidade de precipitação nos órgãos oficiais.....	11
2.4	Intensidade de precipitação nas regiões brasileiras.....	12
2.4.1	Pluviometria das regiões brasileiras.....	12
2.4.2	Intensidade de precipitação nas regiões brasileiras.....	14
2.5	Métodos para estimativa da intensidade de precipitação.....	16
2.5.1	Método da “Intensidade-Duração-Frequência”	19
3	LEVANTAMENTO DOS PARÂMETROS DA EQUAÇÃO “INTENSIDADE-DURAÇÃO-FREQUÊNCIA” (<i>a</i>, <i>b</i>, <i>c</i> e <i>d</i>) PARA AS REGIÕES BRASILEIRAS.....	21
4	MÓDULO PARA ESTIMATIVA DA “INTENSIDADE-DURAÇÃO-FREQUÊNCIA” DAS REGIÕES BRASILEIRAS.....	26
5	CONCLUSÕES	31
6	REFERÊNCIAS.....	32

1 INTRODUÇÃO

As chuvas intensas podem gerar problemas em áreas urbanas e rurais, sendo eventos extremos que podem causar inundações, deslizamentos e erosão, resultando em grandes prejuízos. Precipitações pluviométricas com altura igual ou superior a 30 mm, em 24 horas, já são suficientes para causar danos, especialmente em grandes centros urbanos (INMET, 2021a).

No período entre 2010 e 2019 as chuvas intensas causaram mais de seis bilhões de reais em danos materiais, mais de dez bilhões em prejuízos totais e 15.812.139 pessoas tiveram suas vidas impactadas de alguma forma pela ocorrência dos eventos. No mesmo período, 8% dos óbitos e 9% dos feridos por desastres naturais ocorrem em decorrência de precipitações pluviométricas intensas (INMET, 2021a). Portanto, estimar a tendência dos eventos extremos de precipitação pluviométrica em cada região é fundamental para o bom planejamento das atividades de engenharia de água e solo.

Estudos envolvendo a tendência e previsão das chuvas geralmente necessitam de séries históricas de longos períodos de tempo, para que possam representar da forma mais fiel possível a precipitação local (TUCCI, 2001). As séries de precipitação pluviométrica são trabalhadas em modelos estatísticos para encontrar os parâmetros utilizados para calcular as grandezas de interesse das chuvas. Desta forma, a quantificação das chuvas intensas pode ser realizada aplicando-se modelos de estimativa, também denominados de curvas de intensidade-duração-frequência (IDF), que possibilitam o entendimento da ocorrência dos três fatores em determinado período de retorno. As curvas IDF requerem parâmetros específicos (a , b , c e d), os quais podem ser ajustados por meio de regressões lineares ou não lineares (ARAGÃO et al., 2013).

Como na literatura são encontrados inúmeros trabalhos que ajustaram os parâmetros a , b , c e d das curvas IDF das chuvas de diversos locais, o presente trabalho também teve como objetivo reunir o maior número possível desses parâmetros para o desenvolvimento de um Módulo em planilha eletrônica, visando facilitar a busca e a utilização destes dados.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Chuvas intensas: definição e importância

Define-se chuvas intensas como uma precipitação em determinado período de tempo que supera o valor normal esperado para dada região. Portanto, o fenômeno deve ser estudado levando em conta a localização e o tempo. O período de tempo é variável, podendo ser de minutos a dias (EPA, 2021). Os eventos intensos também podem ser chamados de chuvas extremas ou máximas (ARAÚJO et al., 2008).

A probabilidade de ocorrência de uma precipitação intensa também pode ser relacionada a uma variável chamada de período de retorno (T) ou tempo de recorrência. As chuvas são relacionadas a esta variável conforme sua frequência, registrada em séries de observação, sendo esperado que quanto maior a intensidade de um evento, maior o tempo de retorno para que o mesmo possa ser igualado ou superado (SUDERHSA, 2002).

O entendimento e estimativa das chuvas intensas em determinada região é importante para o desenvolvimento de obras hidráulicas, tanto urbanas quanto rurais, devido ao escoamento superficial da água criada por esses eventos. Em áreas urbanas, as informações das chuvas intensas são utilizadas para a construção de galerias pluviais e bueiros. Em áreas rurais, valores de chuvas intensas são importantes para o dimensionamento de sistemas para drenagem, canais, terraços, bueiros, calhas, barragens, entre outros (SANTOS et al., 2010).

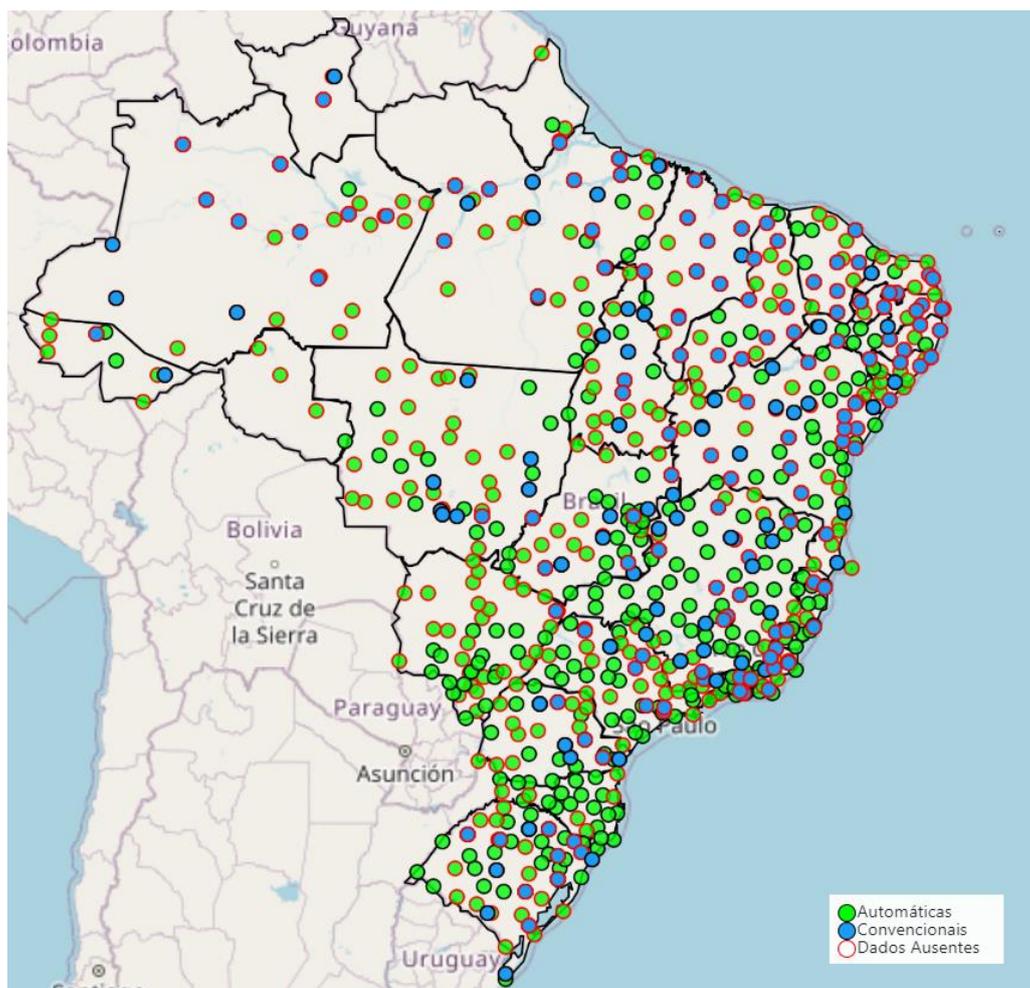
A intensidade de precipitação é o evento que mais interfere no processo de erosão do solo (SANTOS et al., 2010). Além de causar empobrecimento do solo, devido à perda de nutrientes junto às partículas do solo, as chuvas intensas também podem causar a contaminação das áreas onde as partículas acabam sendo depositadas, como nascentes e várzeas. Desta forma, práticas conservacionistas como o manejo de resíduos vegetais diminuem os efeitos da erosão pela chuva, pois diminuem a energia cinética com que a gota chega ao solo e a velocidade com que água escoar no solo (VOLK et al., 2008).

2.2 Órgãos responsáveis pela coleta de dados meteorológicos

Para melhor entendimento e estimativa das chuvas intensas em determinada região é importante à existência ou disponibilidade de série de dados de precipitação. No caso das chuvas intensas são importantes a altura da lâmina precipitada e o tempo de sua ocorrência. As séries permitem a realização de estudos matemáticos e estatísticos para a determinação da relação intensidade-duração-frequência (ARAGÃO et al., 2013).

O Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) é a instituição governamental brasileira responsável pela coleta de séries de dados meteorológicos, dentre eles a precipitação pluviométrica. A coleta dos dados é realizada em mais de 400 estações meteorológicas de superfície distribuídas pelo país, que podem ser automáticas ou convencionais (FIGURA 1).

FIGURA 1 – Rede de estações meteorológicas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).



FONTE: INMET (2021b)

2.3 Medida da quantidade e intensidade da precipitação pluviométrica

Os equipamentos utilizados para realizar a medição da precipitação são os pluviômetros e pluviógrafos. Ambos os equipamentos operam tendo as medidas em milímetros (mm) como unidade (INMET, 2021b). A medida de 1 mm de precipitação pluviométrica corresponde à 1 litro de água por metro quadrado (SOUZA, 2019), conforme representado abaixo:

$$1 \text{ m}^3 \text{ de água} = 1000 \text{ L de água} \rightarrow 1 \text{ m} \cdot 1 \text{ m}^2 = 1000 \text{ L}$$

$$1000 \text{ mm} \cdot 1 \text{ m}^2 = 1000 \text{ L} \rightarrow 1 \text{ mm} \cdot 1 \text{ m}^2 = 1 \text{ L}$$

$$\text{Logo, } 1 \text{ mm} = 1 \text{ L m}^{-2}$$

2.3.1 Tipos de pluviômetros

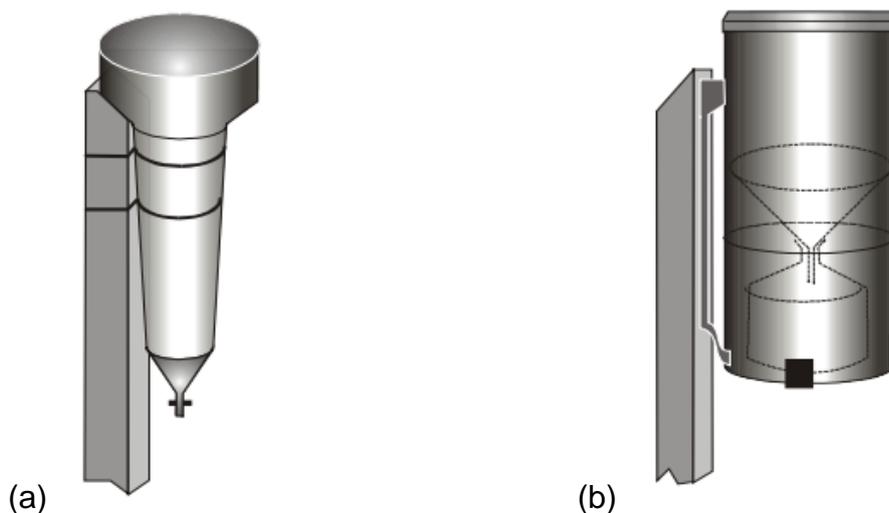
O pluviômetro é um instrumento que armazena a água da chuva, possibilitando a medição da lâmina precipitada, que é feita usualmente com o auxílio de uma proveta graduada, mas que também pode ser realizado com o auxílio de uma balança (VAREJÃO-SILVA, 2006).

Quanto aos tipos, os pluviômetros podem ser divididos em ordinários e totalizadores:

a) Pluviômetros ordinários

Nos pluviômetros ordinários a leitura é realizada diariamente, entre 8:00 e 9:00 h da manhã, fornecendo a precipitação acumulada das últimas 24 horas. Esses instrumentos podem ser encontrados em diferentes formatos, sendo os pluviômetros *Ville de Paris* (FIGURA 3a) e Helmann (FIGURA 3b) os mais comuns (VAREJÃO-SILVA, 2006).

FIGURA 3 – Principais tipos de pluviômetros ordinários: a) Pluviômetro *Ville de Paris*; e, b) Pluviômetros Helmann.



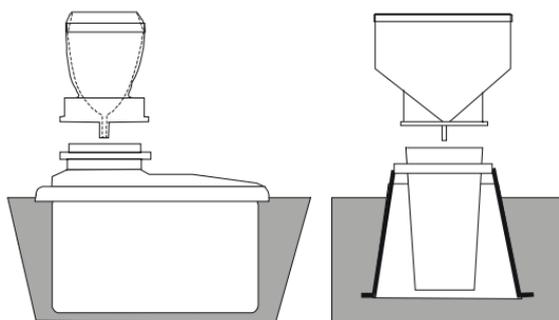
FONTE: VAREJÃO-SILVA (2006, p.354)

b) Pluviômetros totalizadores

A principal diferença dos pluviômetros totalizadores (FIGURA 4) para os ordinários (FIGURA 3) está na disposição e capacidade do reservatório. Preferencialmente, o reservatório deve ficar enterrado para diminuir a evaporação da água, bem como precisa ser capaz de armazenar a precipitação acumulada de um período maior (VAREJÃO-SILVA, 2006).

No mercado, também existem pluviômetros digitais, que além de fornecer a precipitação acumulada das últimas 24 horas, também conta com funções como registrador automático de dados, que dependendo do modelo, pode fazer o envio dos mesmos, facilitando sua coleta (RIBEIRO, 2019).

FIGURA 4 – Esquema de pluviômetros totalizadores.



FONTE: VAREJÃO-SILVA (2006, p.355)

2.3.2 Tipos de pluviógrafos

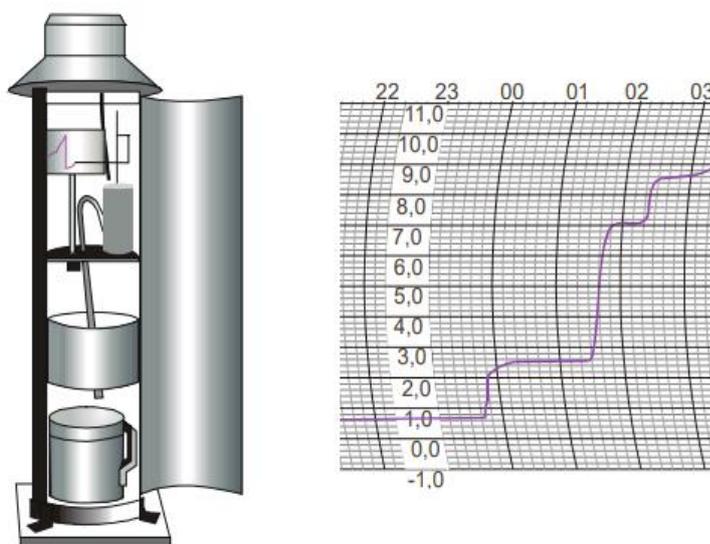
Diferentemente do pluviômetro, o pluviógrafo além de fornecer a altura precipitada consegue também fornecer a intensidade da precipitação. O instrumento faz a medição e registra a precipitação no decorrer do tempo. Os pluviógrafos mais utilizados são os do tipo boia, balança e basculante (VAREJÃO-SILVA, 2006):

a) Pluviógrafo tipo boia

O pluviógrafo tipo boia (FIGURA 5), também conhecido como pluviógrafo flutuador, armazena água precipitada em uma cisterna que contém uma boia em seu interior. À medida que a cisterna se enche a boia se desloca para cima, acionando a pena registradora, que fará o registro da precipitação em um diagrama chamado de pluviograma. Quando a cisterna chega à sua capacidade máxima um sifão é acionado, causando o esvaziamento e fazendo com que a pena registradora trace uma linha vertical no pluviograma (VAREJÃO-SILVA, 2006; HARTWIG, 2012).

O pluviograma consiste em um diagrama, em que no eixo das abcissas encontra-se a escala de tempo (horas) e no eixo das ordenadas a lâmina precipitada (mm). A linha da precipitação é demarcada com uma pena registradora que se desloca conforme a intensidade da precipitação.

FIGURA 5 – Pluviógrafo tipo boia e pluviograma.

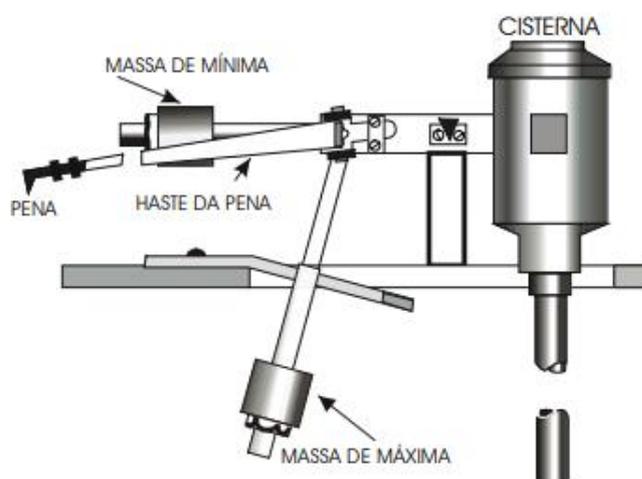


FONTE: VAREJÃO-SILVA (2006, p.357)

b) Pluviógrafo tipo balança

O pluviógrafo tipo balança (FIGURA 6) possui uma balança de equilíbrio, onde em um dos lados se encontra uma cisterna para armazenamento da precipitação, e do outro lado possui duas massas, de mínimo e máximo, que regulam o deslocamento da pena registradora e equivalem a amplitude que a balança irá se deslocar. Conforme a cisterna se enche a balança sofre um deslocamento da haste da pena registradora, que é marcado no pluviograma. Quando a cisterna se enche, ela é esvaziada pelo sifão e a pena volta ao zero no pluviograma (VAREJÃO-SILVA, 2006).

FIGURA 6 – Esquema do pluviógrafo tipo balança.

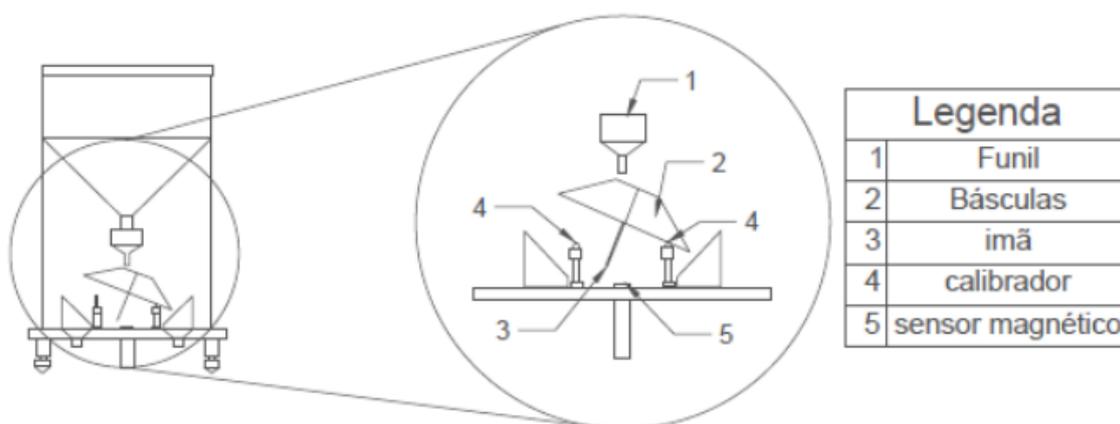


FONTE: VAREJÃO-SILVA (2006, p.358)

c) Pluviógrafo tipo basculante

No pluviógrafo tipo basculante (FIGURA 7) a precipitação recolhida pelo coletor cai em recipiente dividido em duas partes iguais, recebendo a água uma por vez. Quando um desses compartimentos se enche, ele é basculado para se esvaziar, enquanto o outro lado passa a receber a água. Esse recipiente possui um ímã preso na sua parte de baixo, por meio de uma haste. O ímã se movimenta sobre um sensor magnético quando o recipiente é basculado, acionando um circuito elétrico que faz com que a pena registradora marque a precipitação no pluviograma (VAREJÃO-SILVA, 2006; LIMA et al., 2014).

FIGURA 7 – Esquema do pluviógrafo tipo basculante.



FONTE: LIMA et al. (2014, p.2)

Os dados obtidos também podem ser armazenados digitalmente em um “*datalogger*”, marcando um pulso elétrico cada vez que o recipiente com água é esvaziado (LIMA et al., 2014). O pluviógrafo tipo basculante apresenta um erro instrumental, principalmente em chuvas mais intensas, pois a água ainda cai no recipiente que está cheio durante metade do tempo que ele se move para começar a esvaziar (VAREJÃO-SILVA, 2006).

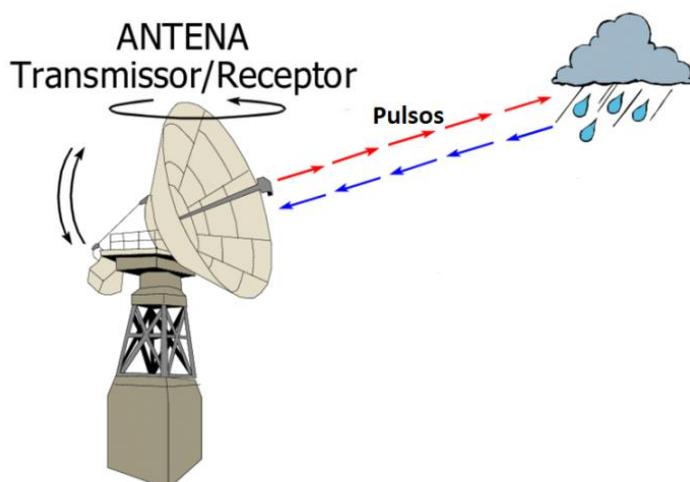
2.3.3 Estimativa da precipitação pluviométrica por meio de radares e satélites

A precipitação pluviométrica também pode ser estimada com o uso de radares e satélites, que são instrumentos muito importantes, principalmente em áreas extensas e com poucos dados. Os satélites utilizados para o monitoramento do clima são chamados de satélites meteorológicos.

a) Radares para estimava da precipitação pluviométrica

Nos radares a precipitação é estimada baseando-se na quantidade de energia que a chuva reflete e retorna ao radar. São instrumentos que possuem um sensor de micro-ondas que envia pulsos de energia eletromagnética. Ao retornarem para o equipamento, os pulsos são medidos por um receptor (FIGURA 8). A precipitação então é estimada conforme a quantidade de energia refletida de volta e com base no intervalo de tempo entre o envio do pulso e o retorno do eco (MIGUEL et al., 2020).

FIGURA 8 – Esquema de um radar meteorológico.



FONTE: PEREIRA e GALVANI (2008)

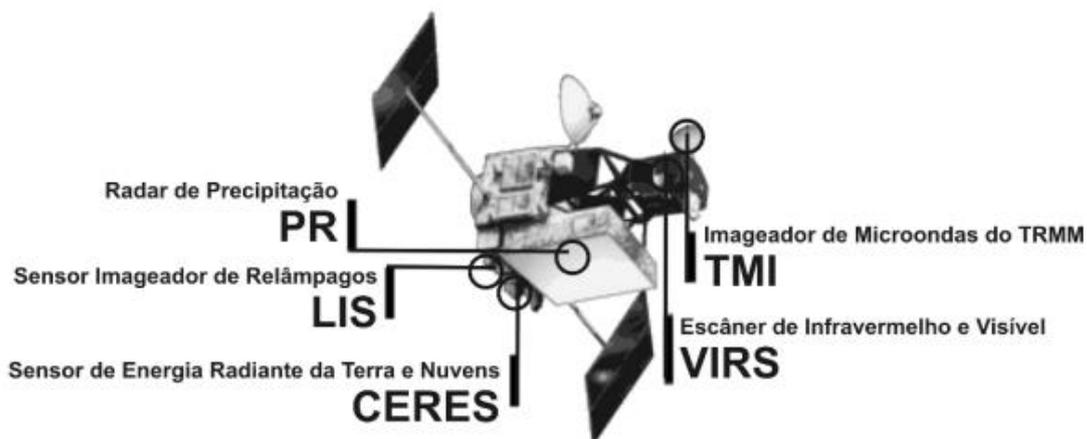
Segundo PEREIRA e GALVANI (2008) a operação de um radar pode ser feita de forma isolada ou em conjunto com outros, formando uma rede, e podem ter alcance de centenas de quilômetros.

b) Satélites para estimava da precipitação pluviométrica

A precipitação de uma região também pode ser medida em satélites (FIGURA 9). O *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM) foi um satélite projetado pela NASA em conjunto com a Agência Japonesa de Exploração (JAXA), que monitorava a precipitação pluviométrica na região tropical do globo. O satélite foi equipado com vários instrumentos, entre eles um radar de precipitação. As estimativas geradas pelo programa foram coerentes, e retrataram o regime pluviométrico da bacia do Alto Paraguai, Mato Grosso, até a fazenda Descalvados, Cáceres - MT (COLLISCHONN et al., 2007).

Para fazer a estimativa da precipitação os satélites possuem equipamentos que coletam dados como a radiação emitida da Terra e a quantidade de vapor d'água presente na atmosfera (MOL, 2005). Mol (2005) considera que o brilho, a textura da superfície e a temperatura do topo de uma nuvem são os principais aspectos para relacionar uma nuvem com a possível precipitação pluviométrica, utilizando imagens de satélites.

FIGURA 9 – Satélite TRMM e seus instrumentos.



FONTE: SANTOS (2014)

Com o sucesso do TRMM, outro importante programa para a coleta de dados de precipitação pluviométrica foi lançado, o *Global Precipitation Measurement* (GPM). Mazzoglio et al. (2019) consideram que o IMERGE (*Integrated Multi-satellitE Retrievals for GPM*), um dos produtos do GPM, tem 13% de capacidade para detecção de chuvas extremas quando utilizado em conjunto com o *Extreme Rainfall Detection System* (ERDS), do serviço de monitoramento de chuvas extremas do *Information Technology for Humanitarian Assistance, Cooperation and Action*. Imagens com a precipitação dos últimos 30 minutos, 24 horas e sete dias estão disponíveis no site da NASA para acesso público no GPM IMERGE Global Viewer. Além disso, dados gerados pelo GPM podem ser acessados no mesmo site.

2.3.4 Medida da quantidade e intensidade de precipitação nos órgãos oficiais

O Brasil possui uma Rede Hidrometeorológica Nacional, que é coordenada pela Agência Nacional de Águas (ANA). No Brasil existem 14822 estações de monitoramento, em órgãos federais e estaduais, das quais 4543 são operadas pela ANA. As estações medem vários parâmetros relacionados à água, entre eles o volume de precipitação pluviométrica (ANA, 2018).

Na Estação Meteorológica Automática (EMA) do INMET ou SIMEPAR, os dados de precipitação pluviométrica são coletados de forma automática.

Nas estações convencionais do INMET, os dados são coletados por um observador meteorológico, sendo a precipitação pluviométrica medida com um pluviômetro tipo *Ville de Paris* e a intensidade de precipitação com os pluviógrafo tipo boia (VIANELLO, 2011).

De acordo com o Plano Diretor de Tecnologia da Informação (PDTI) de 2020-2021 do INMET (MAPA, 2021), o instituto ainda não conta com radares para fazer o monitoramento da precipitação, mas possui planos para mudar a realidade. O INMET faz uso do *software* TeraScan, que é utilizado para receber e tratar dados e imagens recebidos de satélites como o Meteosat, da Agência Espacial Europeia (ESA).

No Paraná, o SIMEPAR possui uma rede com três radares localizados nos municípios de Teixeira Soares, Cascavel e Curitiba. O primeiro equipamento foi instalado na cidade de Teixeira Soares, sendo um radar meteorológico Banda-S, Doppler, que está em operação desde 1998 (SIMEPAR, 2021; CALVETTI et al., 2003).

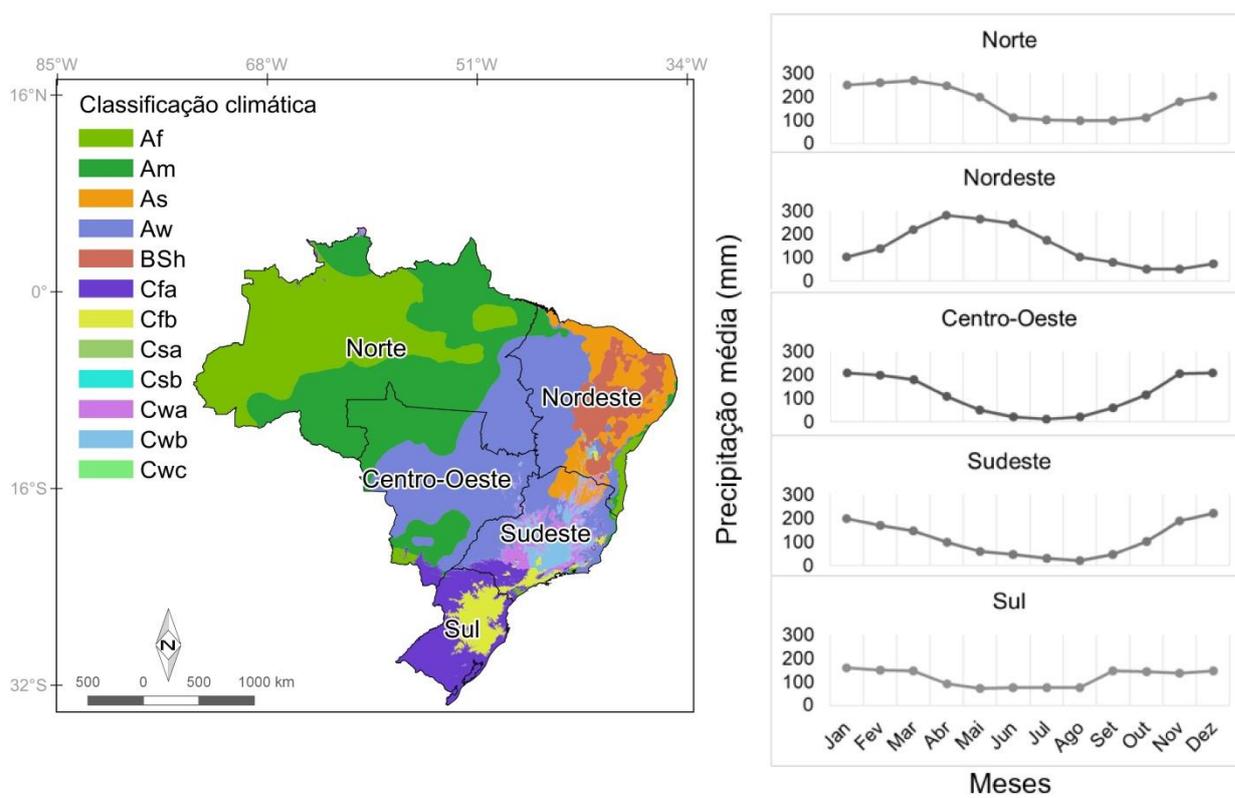
2.4 Intensidade de precipitação nas regiões brasileiras

2.4.1 Pluviometria das regiões brasileiras

Ao longo do ano, a distribuição das chuvas no Brasil ocorre de forma diferente em cada região. A região Sul, classificado como Cfa e Cfb conforme a classificação climática de Köppen-Geiger, apresenta distribuição mais uniforme quando comparado às demais regiões brasileiras (FIGURA 10), que possuem períodos chuvosos e secos bem definidos ao longo do ano (ALMEIDA et al., 2015).

Na região do semiárido brasileiro (clima Bsh e As), a distribuição das chuvas ocorre de forma irregular durante o ano e conforme o local. A irregularidade aumenta a probabilidade de ocorrer eventos extremos, como chuvas intensas e períodos de escassez. Costa (2018) utilizando-se da Técnica dos Quantis, empregando dados de precipitação pluviométrica entre 1961 e 2011, verificou com percentil $\geq 95\%$ para chuvas intensas que as precipitações diárias acima de 41,5 mm se enquadrariam como um evento extremo.

FIGURA 10 – Precipitação média mensal nas regiões político administrativas brasileiras, entre 1940 e 2012.

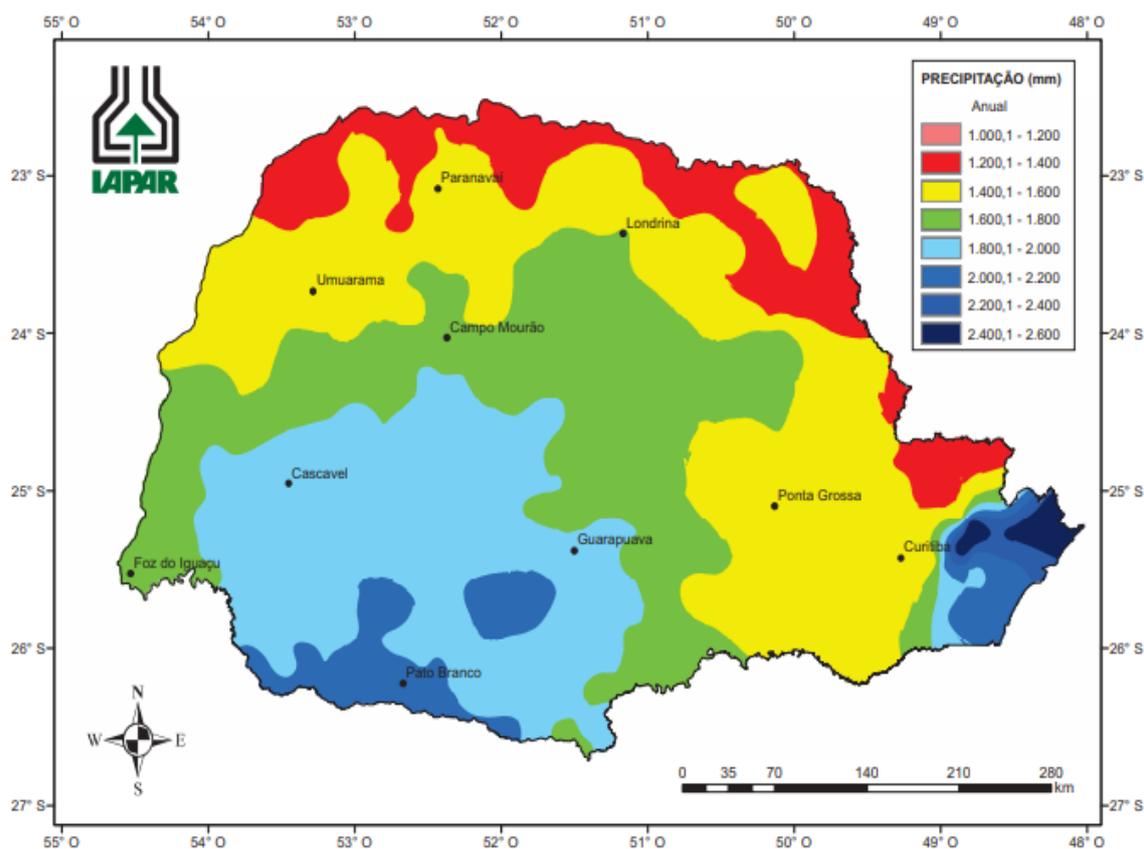


FONTE: Adaptado de ALMEIDA et al. (2015)

A precipitação pluviométrica em regiões de clima tropical (Af, Am e Aw), como da Bacia Amazônica, também é marcada por heterogeneidade na sua distribuição. Na Bacia Amazônica brasileira o período com menor precipitação (estação seca) encontra-se entre maio e outubro, e concentra cerca de 30% do total das chuvas, sendo os valores mensais inferiores a 150 mm. O período de chuvas, que se estende de novembro a abril, concentra chuvas mensais entre 200 a 400 mm (COUTINHO et al., 2018).

No Estado do Paraná (FIGURA 11), a região norte do Estado apresenta os menores valores pluviométricos quando comparados ao sul (NERY et al., 2020).

FIGURA 11 – Precipitação pluviométrica anual no Estado do Paraná.



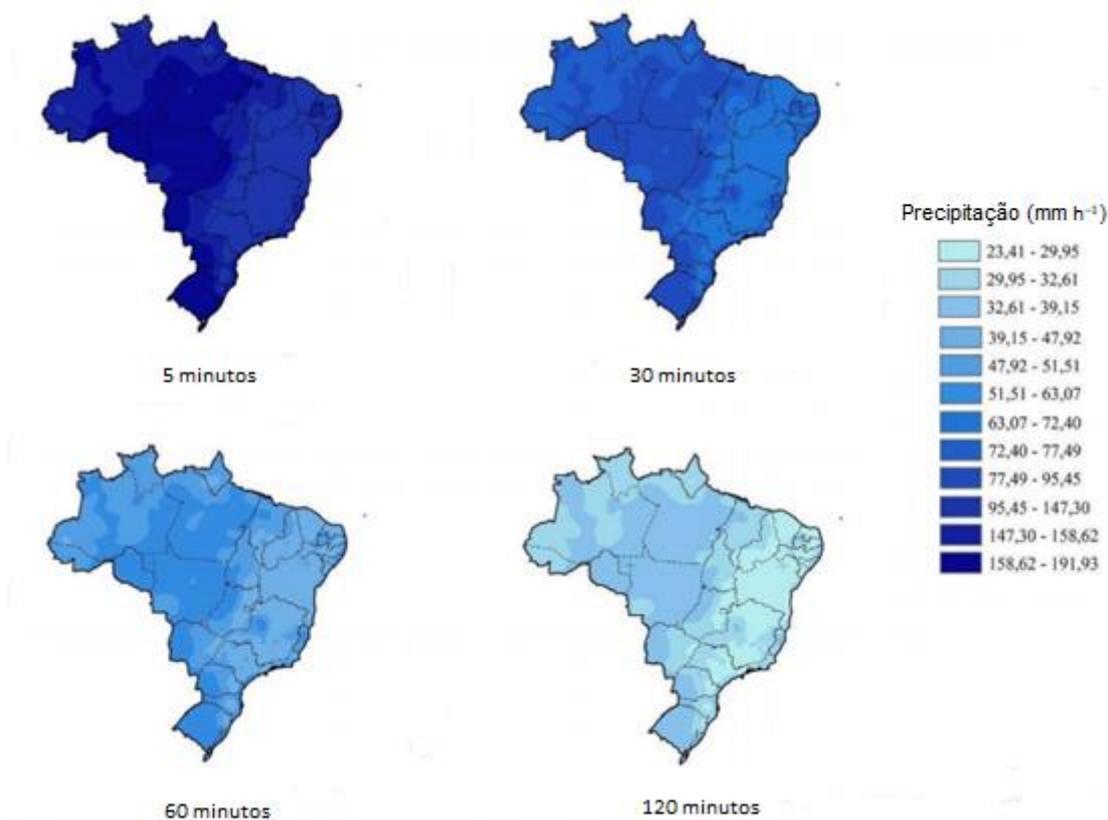
FONTE: IAPAR (2019)

2.4.2 Intensidade de precipitação nas regiões brasileiras

Determinar e entender como ocorre a intensidade da precipitação pluviométrica de uma região é importante para evitar, ou ao menos reduzir problemas como erosão, inundações e acidentes. A intensidade de uma chuva é dada pela relação entre a lâmina ou volume de água precipitado durante certo intervalo de tempo, sendo geralmente indicada em milímetros por hora (mm h^{-1}) (TUCCI, 2001).

Na FIGURA 12 encontra-se a distribuição das chuvas intensas para um tempo de retorno de cinco anos no território nacional. Estão representadas chuvas de 5, 30, 60 e 120 minutos, com volume de precipitação entre 23 e 192 mm h^{-1} . O Centro-oeste e parte das regiões Norte e Sul são áreas mais afetadas por eventos de chuvas intensas no Brasil.

FIGURA 12 – Chuvas intensas no Brasil, com duração de 5, 30, 60 e 120 min, para o período de retorno de cinco anos.



FONTE: SOUZA et al. (2019)

Marcelino (2008) descreve que no Brasil os desastres naturais mais frequentes são as inundações e os deslizamentos, representando cerca de 60% e 15% dos registros, respectivamente. Mais de 60% dos desastres naturais no território nacional ocorrem na região Sul, o que reforça a importância de maiores estudos nesta região do país.

Terassi et al. (2018) verificaram que no norte do Paraná as chuvas de maior intensidade tendem a ocorrer entre os meses de outubro e março. As chuvas intensas são comuns na região centro-sul brasileira, devido ao aquecimento do ar úmido que está próximo ao solo, que ascende e gera chuvas de baixa duração com grande intensidade.

As chuvas intensas, além de todos os problemas que geram em áreas urbanas, como alagamentos e deslizamentos, também podem causar muitos danos em áreas rurais de produção agrícola. Em setembro de 2013 o Estado de Santa Catarina foi atingido por chuvas intensas, acompanhadas de ventos

fortes e granizo em algumas regiões, causando prejuízo de aproximadamente 58 milhões de reais. Os danos causados ocorrem de diversas formas, como perda de leite por falta de recolhimento, rompimento de açudes usados em piscicultura, e perda de produção, especialmente na cultura do fumo (EPAGRI, 2013).

2.5 Métodos para estimativa da intensidade de precipitação

Beijo (2002) considera que o método de Gumbel é um dos mais utilizados para estimar as precipitações máximas e mínimas de determinada localidade. O método utiliza a função densidade de probabilidade (*fdp*) de Gumbel, publicada em 1958. A *fdp* de Gumbel necessita de séries observadas de precipitação pluviométrica, para que seus parâmetros sejam estimados ou ajustados. Os valores de máximo e mínimo são dados, respectivamente, pelas equações:

$$f(x)_{\text{máximo}} = \frac{1}{b} \cdot \exp(-y - e^{-y})$$

$$f(x)_{\text{mínimo}} = \frac{1}{b} \cdot \exp(y - e^y)$$

$$y = \frac{1}{b}(x - u)$$

Sendo: $f(x)_{\text{máximo}}$ e $f(x)_{\text{mínimo}}$ – precipitações máximas e mínimas, respectivamente (mm); y – variável reduzida (mm); b – parâmetro de escala (adimensional); x – variável aleatória precipitação pluviométrica (mm); u – parâmetro de posição (adimensional).

O parâmetro de posição (u) é estimado com a média e desvio padrão da série observada de precipitação pluviométrica, enquanto o parâmetro de escala (b) é obtido apenas com o desvio padrão da série (BEIJO, 2002).

De acordo com Mendonça (2016) a *fdp* de Weibul também é muito utilizada para estimar precipitações pluviométricas prováveis, principalmente por possuir parâmetros fáceis de serem ajustados. Além da simplicidade na operação, o autor considera também que a *fdp* Log-Normal se ajusta muito bem aos dados pluviométricos brasileiros. Os parâmetros da *fdp* Log-Normal

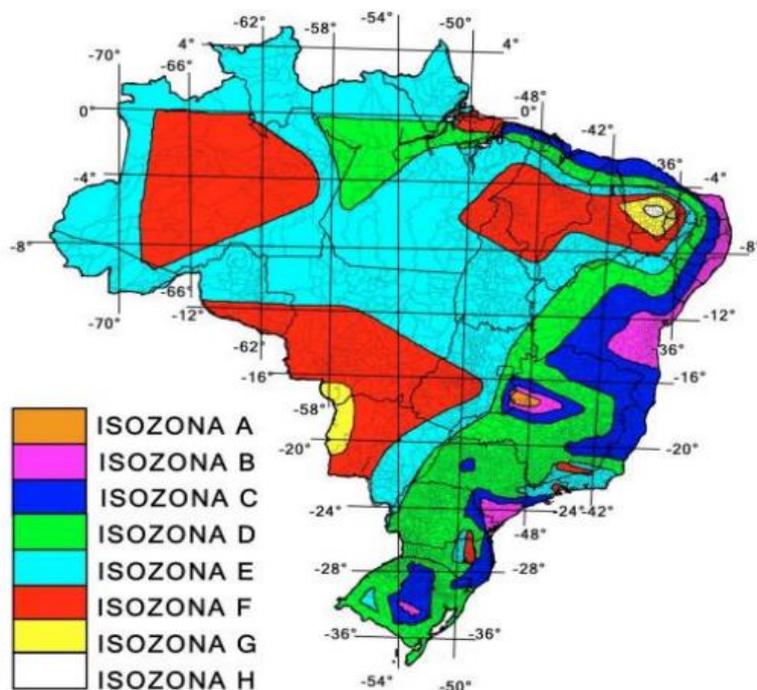
podem ser estimados com o método da Máxima Verossimilhança. A f_{dp} Lognormal é dada por:

$$f(x, \alpha, \beta) = e^{-\frac{[\ln(x) - \alpha]^2}{2 \cdot \beta}} \cdot \frac{1}{x \cdot \beta \cdot \sqrt{2\pi}}$$

Sendo: $f(x, \alpha, \beta)$ – f_{dp} que representa a precipitação pluviométrica estimada (mm); x – variável aleatória contínua precipitação pluviométrica (mm); α – parâmetro de forma (mm); β – parâmetro de escala (mm);

Em áreas que não apresentam histórico de dados, o método das Isozonas é um dos mais utilizados para se estimar a intensidade das precipitações pluviométricas (FIGURA 13; TABELA 1). O método criado por Torrico (1974) foi idealizado com a verificação da correlação entre alturas de chuvas e duração, após a plotagem dos dados de estações distribuídas pelo Brasil. O método converte precipitações de 24 horas de duração para precipitações de 6 minutos e 1 hora, para diferentes períodos de retorno. Assim, cada isozona (8 no total) apresenta a mesma relação entre precipitações de 1 hora/24 horas e 6 minutos/24 horas, sendo associadas ao coeficiente de intensidade para cada período de retorno (GONÇALVES, 2011).

FIGURA 13 – Delimitação das isozonas do Brasil.



FONTE: SANTOS (2015)

TABELA 1 – Coeficientes de intensidade associados às isozonas e respectivas relações entre precipitações pluviométrica (P) de 1 hora, em 24 horas, e de 6 minutos, em 24 horas.

Zonas	----- Períodos de retorno (anos) -----											
	----- 1 h / 24 h -----										- 6 min./24 h -	
	5	10	15	20	25	30	50	100	1000	10000	5-50	100
A	36,2	35,8	35,6	35,5	35,4	35,3	35,0	34,7	33,6	32,5	7,0	6,3
B	38,1	37,8	37,5	37,4	37,3	37,2	36,9	36,4	37,2	36,0	8,4	7,5
C	40,1	39,7	39,5	39,3	39,2	39,1	38,8	38,4	37,2	36,0	9,8	8,8
D	42,0	41,6	41,4	41,2	41,1	41,0	40,7	40,3	39,0	37,8	11,2	10,0
E	44,0	43,6	43,3	43,2	43,0	42,9	42,6	42,2	40,9	39,6	12,6	11,2
F	46,0	45,5	45,3	45,1	44,9	44,8	44,5	44,1	42,7	41,3	13,9	12,4
G	47,9	47,4	47,2	47,0	46,8	46,7	46,4	45,9	44,5	43,1	15,4	13,7
H	49,9	49,4	49,1	48,9	48,8	48,6	48,3	47,8	46,3	44,8	16,7	14,9

----- FONTE: GONÇALVES (2011) -----

O modelo Bell também é outra maneira de se estimar a intensidade de precipitação pluviométrica (GONÇALVES, 2011). O modelo pode ser utilizado para determinar chuvas com tempo de duração entre 5 e 120 minutos, e tempo de retorno entre 2 e 100 anos. A equação ajustada utilizando série de dados de diferentes lugares do mundo é dada por:

$$P(t; T) = (0,35 \cdot \ln(T) + 0,76) \cdot (0,54 \cdot t^{0,25} - 0,50) \cdot P(60; 2)$$

$$P(60; 2) = 6,69 \cdot 10^{-3} \cdot M \cdot n^{0,33} \quad \text{para valores de } M \text{ entre 0 e 58,8}$$

$$P(60; 2) = 8,27 \cdot 10^{-3} \cdot M^{0,67} \cdot n^{0,33} \quad \text{para valores de } M \text{ entre 58,8 e 114}$$

Sendo: $P(t; Tr)$ – precipitação pluviométrica de projeto (mm); t – duração da precipitação pluviométrica (minutos); T – tempo de retorno (anos); $P(60; 2)$ – precipitação pluviométrica intensa padrão com duração de 60 minutos e período de retorno de 2 anos (mm); n – número médio de dias de tormenta (dias; deve ser menor ou igual a 80); M – média das precipitações pluviométricas máximas anuais com duração diária (mm).

2.5.1 Método da “Intensidade-Duração-Frequência”

A intensidade e duração de uma chuva possuem relação inversa. Desta forma, a tendência é que chuvas mais intensas possuam duração reduzida. Outro aspecto a ser observado é que a frequência de ocorrência dos eventos de precipitação pluviométrica diminua com a maior intensidade (TUCCI, 2001).

Os fatores intensidade, duração e frequência são utilizados para se caracterizar as chuvas extremas de uma região, e suas relações são obtidas com a análise do histórico das precipitações pluviométricas. A série de dados observados para se fazer a caracterização deve abranger amplo período de tempo, para representar bem a realidade (TUCCI, 2001).

As séries de dados pluviométricos são utilizadas para criar curvas que representam a tendência das chuvas, chamadas curvas IDF, que também podem ser representadas pela equação (TUCCI, 2001):

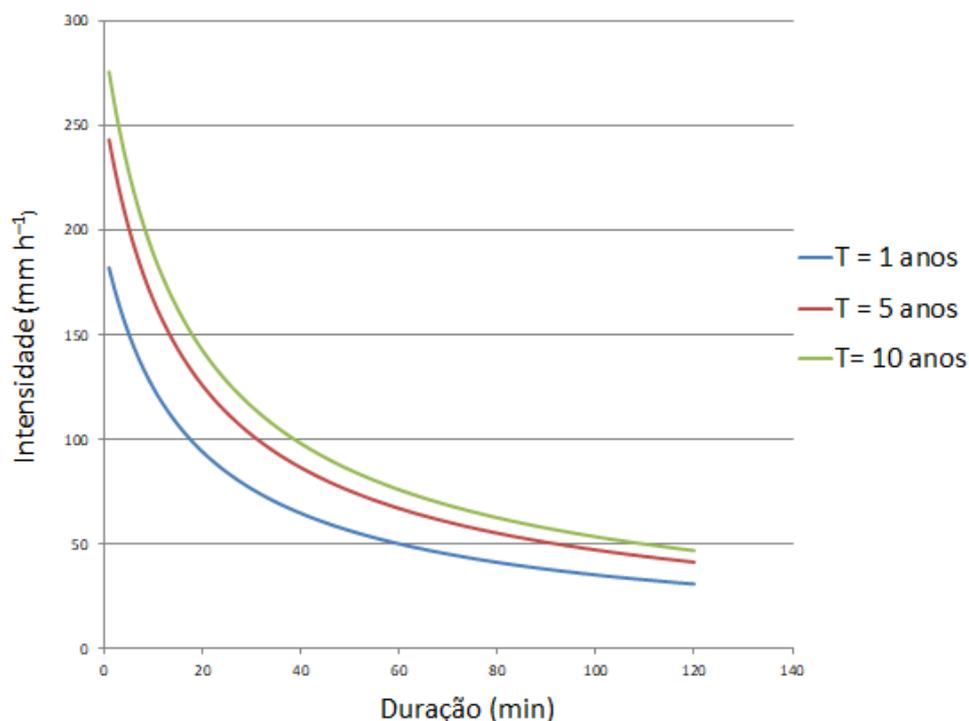
$$i = \frac{a \cdot T^b}{(t + c)^d}$$

Sendo: i – intensidade máxima de precipitação (mm h^{-1}); T – período ou tempo de retorno (anos); t – duração da precipitação (minutos); a , b , c e d – parâmetros determinados com a análise da série de dados históricos de precipitação pluviométrica (a em $\text{mm h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$; c em minutos; b e d são adimensionais).

A equação é representada por uma curva exponencial decrescente, em que a intensidade de precipitação fica no eixo das ordenadas e a duração no eixo das abscissas (FIGURA 14). Cada período de retorno é representado por uma nova curva no gráfico (PEREIRA et al., 2017).

Os parâmetros da equação são ajustados e obtidos de forma empírica, utilizando observações de séries históricas que descrevem as características do local onde os dados foram coletados (MELLO et al., 2003).

FIGURA 14 – Curva exponencial decrescente da intensidade de precipitação versus duração



FONTE: O autor (2021)

A metodologia a ser seguida para obtenção das curvas IDF consiste, primeiramente, em selecionar as precipitações máximas anuais na base de dados para diferentes durações, sendo comumente utilizados os tempos de 5, 10, 15 e 30 minutos e 1, 2, 3, 4, 6, 12, 18 e 24 horas (GONÇALVES, 2011). Em seguida ajusta-se uma f_{dp} para cada série de valores, sendo obtida a intensidade conforme a relação entre P e sua duração.

Os parâmetros da curva IDF podem ser ajustados em análises de regressão linear ou não linear. Para o ajuste por regressão linear, Campos et al. (2014) utilizaram o método dos mínimos quadrados. Para o ajuste por regressão não linear, os autores utilizaram o método de Gradação Reduzida Generalizada (GRG) Não Linear, e necessitaram do auxílio de uma planilha eletrônica.

Gonçalves (2011) obtiveram os parâmetros a , b e d utilizando regressões múltiplas, após linearizar a curva IDF com o auxílio de logaritmos. Para obtenção do parâmetro c o autor utilizou um programa em linguagem MATLAB 2008, e sua escolha baseou-se no maior valor do coeficiente de determinação (R^2) alcançado. Conforme o autor, o parâmetro c tem valor entre zero e 30.

3 LEVANTAMENTO DOS PARÂMETROS DA EQUAÇÃO “INTENSIDADE-DURAÇÃO-FREQUÊNCIA” (a , b , c e d) PARA AS REGIÕES BRASILEIRAS

Devido à importância e aplicabilidade da intensidade de precipitação pluviométrica para diversas finalidades, na literatura tem-se inúmeros estudos que foram desenvolvidos visando encontrar os parâmetros (a , b , c e d) da equação de intensidade-duração-frequência de locais ou regiões brasileiras.

Na TABELA 2 encontram-se relacionadas algumas publicações que foram obtidas em pesquisas realizadas na *internet*, visando o levantamento dos parâmetros (a , b , c e d) da equação de intensidade-duração-frequência de diferentes regiões brasileiras. Parte do levantamento das publicações foi realizado em uma etapa anterior (MOCELIN E SOUZA, 2019), passando por atualizações e correções das referências ao longo do desenvolvimento do presente trabalho. Os trabalhos foram encontrados utilizando a ferramenta de pesquisa *Google Acadêmico*, sendo encontrados e organizados por Estados.

Devido à etapa já realizada anteriormente (MOCELIN E SOUZA, 2019), nas pesquisas realizadas no presente trabalho deu-se ênfase e foram selecionadas as publicações que trouxessem informações (parâmetros) complementares, de Estados ainda contendo pouco ou nenhum estudo levantado tratando do ajuste das curvas IDF. As pesquisas foram realizadas utilizando-se as palavras-chaves: “parâmetros de chuvas intensas” e “equações de chuvas intensas”, em conjunto com o nome do Estado desejado. Não foi utilizado data de publicação como critério de busca.

No total, foram selecionados 36 trabalhos, realizados por diversos autores, contabilizando o total de 1435 localidades distribuídas por todos os Estados e Distrito Federal brasileiro.

TABELA 2 – Publicações levantadas contendo os parâmetros (*a*, *b*, *c* e *d*) da equação de intensidade-duração-frequência dos principais locais/regiões brasileiras.

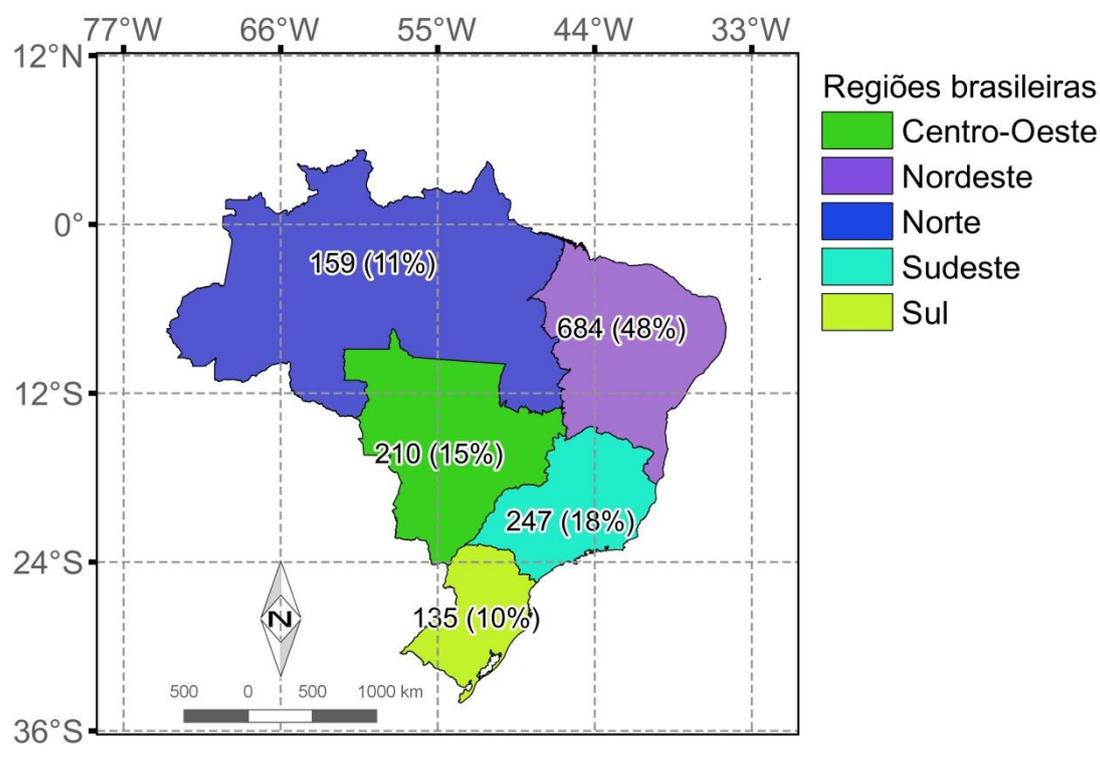
Autores	Título do trabalho	Estado(s)
BACK e CADORIN (2020)	Chuvas extremas e equações intensidade-duração-frequência para o Estado do Acre.	AC
BACK et al. (2020)	Extreme rainfall and IDF equations for Alagoas State, Brazil.	AL
QUEIRÓZ JUNIOR et al. (2013)	Equações de chuvas intensas para o Estado do Amapá.	AP
MONTEIRO et al. (2018)	Análise da equação IDF de Manaus.	AM
VIEIRALVES et al. (2012)	Equações de chuvas: casos Parintins, Barreirinha, Boa Vista do Ramos, Maués e Nhamundá – AM.	AM
GONÇALVES et al. (2019)	Equação intensidade-duração-frequência das precipitações de algumas localidades do estado da Bahia.	BA
SILVA et al. (2002)	Chuvas intensas no Estado da Bahia.	BA
FREITAS et al. (2001)	Equações de chuvas intensas no Estado de Minas Gerais.	ES
PINTO (1999)	Equação de intensidade-duração-frequência para os Estados do Rio de Janeiro e Espírito Santo.	ES
OLIVEIRA et al. (2005)	Intensidade-duração-frequência de chuvas intensas para localidades no estado de Goiás e Distrito Federal.	GO, DF
CAMPOS et al. (2015)	Equações de intensidade de chuvas para o estado do Maranhão.	MA
GARCIA et al. (2011)	Determinação da equação intensidade-duração-frequência para três estações meteorológicas do Estado de Mato Grosso.	MT
GARCIA (2010)	Equações de chuvas intensas para sete localidades do Estado de Mato Grosso.	MT
SABINO (2018)	Intensidade-duração-frequência de precipitação máxima em Mato Grosso.	MT
SANTOS et al. (2009)	Intensidade-duração-frequência de chuvas para o Estado de Mato Grosso do sul.	MS
MACHADO e SILVA. (2011)	Estimativa de chuvas intensas para o oeste de Minas Gerais e o entorno do reservatório da usina hidrelétrica de Furnas.	MG

Continuação TABELA 2 – Publicações levantadas contendo os parâmetros (*a*, *b*, *c* e *d*) da equação de intensidade-duração-frequência dos principais locais/regiões brasileiras.

Autores	Título do trabalho	Estado(s)
SOUZA et al. (2012)	Equações de chuvas intensas para o Estado do Pará.	PA
SOUZA (1972)	Estudo das chuvas intensas nas zonas rural e urbana de João Pessoa.	PB
CAMPOS et al. (2017)	Estimate of intense rainfall equation parameters for rainfall stations of the Paraíba State, Brazil.	PB
FESTI (2007)	Coletânea das equações de chuvas no Brasil.	PR
LORENZONI et al. (2013)	Chuvas intensas para a microrregião de Cianorte/PR, Brasil: uma avaliação a partir da desagregação de chuvas diárias.	PR
LORENZONI et al. (2014)	Curvas intensidade-duração-frequência de chuvas intensas de Cidade Gaúcha e Guaporema-PR.	PR
SILVA (2009)	Chuvas intensas em localidades do Estado de Pernambuco.	PE
CAMPOS et al. (2014)	Equações de intensidade-duração-frequência de chuvas para o estado do Piauí.	PI
BRAGA et al. (2018)	Determinação e interpolação dos coeficientes das equações de chuvas intensas para cidade do Rio de Janeiro.	RJ
SILVA et al. (1999)	Estimativa e espacialização dos parâmetros da equação de intensidade-duração-frequência da precipitação para os Estados do Rio de Janeiro e Espírito Santo.	RJ, ES
SANTOS (2015b)	Máximas intensidades e índices de erosividade de chuvas para o Rio Grande do Norte.	RN
SOUZA et al. (2016)	Determining IDF equations for the State of Rondônia.	RO
TISCHER (2015)	Equações de chuvas intensas no Estado de Roraima.	RR
KLEIN et al. (2020)	Equações de chuvas intensas para o Oeste de Santa Catarina.	SC
BACK et al. (2011)	Heavy rainfall equations for Santa Catarina, Brazil.	SC
FIORIO et al. (2012)	Comparação de chuvas intensas para localidades do estado de São Paulo.	SP
ARAGÃO et al. (2013)	Chuvas intensas para o estado de Sergipe com base em dados desagregados de chuva diária.	SE
PRÓLO et al. (2021)	Equações de chuvas intensas para o sudeste do estado do Tocantins, Brasil.	TO
SILVA et al. (2003)	Equações de Intensidade-Duração-Frequência da precipitação pluvial para o Estado de Tocantins.	TO
GONÇALVES (2011)	Relações intensidade-duração-frequência com base em estimativas de precipitação por satélite.	Diversos

A região Nordeste apresentou o maior número de localidades analisadas, totalizando 685 localidades (FIGURA 15). Na região Sul, encontrou-se o menor número de análises, apenas 135 localidades. No Estado do Rio Grande do Norte tem-se o maior número de localidades analisadas (167 localidades), seguido do Maranhão (160 localidades) e Mato Grosso do Sul (108 localidades). Os Estados Roraima, Amazonas e Amapá possuem o menor número de localidades, com 5, 6 e 7, respectivamente. Para Distrito Federal foi encontrado apenas uma localidade.

FIGURA 15 – Distribuição percentual, por região brasileira, do número de localidades contendo os parâmetros (*a*, *b*, *c* e *d*) da equação de Intensidade-Duração-Frequência.



FONTE: O autor (2021)

Analisando os trabalhos levantados é possível observar uma disparidade no número de estudos e análises disponíveis. A região Norte, apesar de ter a maior extensão territorial brasileira, apresentou o segundo número de análises (11%; FIGURA 15), o que pode ser explicado pela baixa quantidade e qualidade dos dados das estações meteorológicas, proporcionando a falta de séries históricas para realização de estudos mais consistentes. Por outro lado,

como mais de 60% dos desastres naturais ocorrem no Sul do Brasil (MARCELINO, 2008), chamou à atenção o menor número de estudos envolvendo a IDF (10%; FIGURA 15), indicando a necessidade de maior atenção de pesquisadores e órgãos governamentais da região para esse tema. É importante observar que a região Sul apresenta rede de postos de observação igual ou superior à de outras regiões brasileiras (FIGURA 1).

No levantamento realizado, dentre os parâmetros (a , b , c e d) ajustados para a equação “Intensidade-Duração-Frequência” de todas as localidades, o parâmetro a apresentou média geral igual a $1454,22 \text{ mm h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, sendo o maior valor igual $12724,70 \text{ mm h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (Natividade - TO; PRÓLO et al., 2021) e o menor igual a $110,10 \text{ mm h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (Itajaí - SC; BACK et al., 2011). O parâmetro a também apresentou maior variância ($\sigma_b^2 = 2.405.842,32 \text{ (mm h}^{-1} \text{ ano}^{-1})^2$). Quanto maior o valor de a maior a amplitude da intensidade de precipitação no local analisado.

O parâmetro b é caracterizado por apresentar valores decimais, sendo encontrados na pesquisa valores entre 0,0093 (Londrina – PR; FESTI, 2007) e 0,722 (Lages - SC; BACK et al., 2011), com $\bar{b} = 0,17$ de média geral. O parâmetro b apresentou a menor variância ($\sigma_b^2 = 0,00272$). Como o parâmetro b é o expoente do tempo de retorno (T) na equação, seu impacto na curva de intensidade-duração depende diretamente da magnitude de T . Quando T usado nas análises for de um ano, o valor do parâmetro b não interfere na curva. Para T diferente de um, quanto maior o valor do parâmetro maior será a amplitude dos valores da intensidade.

O parâmetro c foi o único que apresentou valores negativos, sendo o menor valor igual a $-2,6$ minutos (Sorocaba - SP; GONÇALVES, 2011) e maior igual a 112 minutos (São Joaquim – SC; BACK et al., 2011). Das localidades levantadas, verificou-se $\bar{c} = 14,39$ minutos de média geral, com $\sigma_c^2 = 96,989$ minutos². Para maiores valores do parâmetro c a curva intensidade-duração fica mais suave, tendendo a uma reta devido aos baixos valores da intensidade da precipitação.

O parâmetro d apresentou média geral igual 0,78 para as localidades levantadas, variando entre 0,3835 (Florianópolis - SC; BACK et al., 2011) e 1,3758 (Santo Antônio do Leverger – MT; GARCIA, 2010), com $\sigma_d^2 = 0,01161$. Os maiores valores do parâmetro d indicam menor amplitude da intensidade, e fazem com que a curva tenha queda mais abrupta.

Na TABELA 3 encontram-se os parâmetros (a , b , c e d) médios da equação de “Intensidade-Duração-Frequência” de cada região do Brasil. Os valores foram calculados considerando todos os estudos/localidades feitos para a região, obtidos no levantamento.

TABELA 3 – Média dos parâmetros (a , b , c e d) da equação de Intensidade-Duração-Frequência, das regiões brasileiras.

Região	----- Parâmetros -----			
	a	b	c	d
Centro-Oeste	1327,17	0,1561	12,09	0,7753
Nordeste	1006,69	0,1786	11,71	0,7580
Norte	2100,29	0,1490	16,35	0,7736
Sudeste	2275,49	0,1856	21,79	0,8467
Sul	1647,74	0,1967	15,64	0,8257

FONTE: O autor (2021)

A maioria dos trabalhos levantados utilizou o coeficiente de determinação (R^2) para avaliar o ajuste dos parâmetros (a , b , c e d) da equação Intensidade-Duração-Frequência à amostra de dados observados. O coeficiente de determinação (R^2) é um valor adimensional que varia entre -1 a 1 , sendo que quando mais próximo da unidade (1 ou -1), mais bem ajustados estão os parâmetros. Apenas KLEIN et al. (2020) utilizou o coeficiente de eficiência de Nash-Sutcliffe (NSE) para avaliar os dados. Para o coeficiente de NSE considera-se que: o valor 1 representa um ajuste perfeito; valores acima de $0,75$ são considerados ajustes adequados; e, valores entre $0,36$ e $0,75$ são aceitáveis.

4 MÓDULO PARA ESTIMATIVA DA “INTENSIDADE-DURAÇÃO-FREQUÊNCIA” DAS REGIÕES BRASILEIRAS

As publicações levantadas contendo os parâmetros (a , b , c e d) da equação de intensidade-duração-frequência dos principais locais/regiões brasileiras foram organizadas e disponibilizadas em um módulo (FIGURA 16), desenvolvido em planilha eletrônica. O módulo desenvolvido foi denominado “Plataforma Moretti: Módulo Intensidade-Duração-Frequência de Chuvas no Brasil”.

FIGURA 16 – Interface da abertura do Módulo “Intensidade-Duração-Frequência da precipitação pluviométrica para localidades brasileiras”, desenvolvido em uma planilha eletrônica.



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ / SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE SOLOS E ENGENHARIA AGRÍCOLA

UFPR **M** Plataforma Moretti
LAMOSA - LABORATÓRIO DE MODELAGEM DE SISTEMAS AGRÍCOLAS

PLATAFORMA MORETTI: MÓDULO - INTENSIDADE-DURAÇÃO-FREQUÊNCIA DE CHUVAS NO BRASIL

Autores:
Orientador: Jorge Luiz Moretti de Souza (LAMOSA / DSEA / SCA / UFPR)
Graduanda orientada: Rodrigo Eduardo Michaovski (Graduação em Agronomia / SCA / UFPR)
Graduando orientado: Letícia Krupa Mocelin (Graduação em Agronomia / SCA / UFPR)

Endereço:
Rua dos Funcionários, 1540 - Curitiba, PR
CEP: 80035-050 Telefone: (041) 3350-5689
e-mail: jmoretti@ufpr.br
Site: <http://www.moretti.agrarias.ufpr.br/>

Entrar **Fechar**

Versão 2.0 / 2021
Michaovski_AG_pMoretti_2021
Mocelin_AG_pMoretti_2019

Na utilização do Módulo (FIGURA 17), o usuário entra no formulário IDF (botão "Entrar") e primeiramente deve selecionar o Estado e cidade que serão analisados. Em seguida, seleciona a variável entre a intensidade, duração e frequência que pretende estimar. O formulário tem como saída os seguintes dados da localidade escolhida: nome da estação ou do local; coordenadas geográficas (longitude e latitude); parâmetros (a , b , c e d) da Equação de Intensidade-Duração-Frequência; coeficiente de determinação (R^2) e

coeficiente de eficiência de Nash-Sutcliffe obtido no ajuste dos parâmetros da equação; e referências bibliográficas em que as informações foram publicadas/retiradas.

FIGURA 17 – Exemplo de uso do Módulo “Intensidade-Duração-Frequência da precipitação pluviométrica para localidades brasileiras”, para o cálculo da intensidade da precipitação (i).

INTENSIDADE-DURAÇÃO-FREQÜÊNCIA DA PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA PARA LOCALIDADES BRASILEIRAS

Latitude e longitude da cidade/ local:
Latitude: 25° 25' 40" S
Longitude: 49° 16' 23" W

Equação intensidade-duração-frequência e seus parâmetros:

$$i = \frac{a \cdot T^b}{(t + c)^d}$$

a: 5950,00 **b:** 0,22 **R²:** ad. ⁽¹⁾
c: 26,00 **d:** 1,15 **NSE:** ad. ⁽¹⁾
Validade: minutos

Cálculo da intensidade, duração ou período de retorno:

Período de retorno (T ; anos): $P(i \geq i_i)$: 10,0 (%) ⁽²⁾
Tempo (t ; minutos):
Intensidade (i ; mm / hora): **Calcular**

Referência dos parâmetros da equação:
SOUZA (1959), citado em FESTI, A. V. Coletânea das equações de chuvas no Brasil. XII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, São Paulo, 2007.

⁽¹⁾ R^2 - Coeficiente de determinação obtido no ajuste dos parâmetros da equação intensidade-duração-frequência (adimensional); NSE - coeficiente de eficiência da equação.
⁽²⁾ $P(i \geq i_i)$ - Probabilidade do evento intensidade de precipitação pluviométrica i_i , ser igualado ou superado (%).

FONTE: O autor (2021)

Na FIGURA 17 verifica-se que foi selecionada a cidade de Curitiba, localizada no Estado do Paraná, e escolheu-se a intensidade da precipitação pluviométrica (i) para ser estimada, tendo como entrada o período de retorno (T) de 10 anos e tempo de duração da chuva (t) igual 5 minutos. Com as opções de entrada escolhidas obteve-se $i = 189 \text{ mm h}^{-1}$. Logo, se alguma estrutura for dimensionada baseando-se nos dados de entrada ($T = 10$ anos; $t = 5$ minutos) espera-se que a $i \geq 189 \text{ mm h}^{-1}$ tenha ocorrência de apenas 10%, ou seja:

$$P(i \geq i_i) = \frac{1}{10 \text{ anos}} * 100 = 10\%$$

Na FIGURA 18, para a mesma localidade, quando se selecionou o tempo de duração (t) do evento a ser estimado na caixa de opções, tendo como entrada $T = 20$ anos e $i = 100 \text{ mm h}^{-1}$, clicando-se no botão calcular tem-se que $t = 35,5$ minutos. Logo, a 5% de probabilidade ($T = 20$ anos) existe a possibilidade de ocorrer uma precipitação pluviométrica igual ou superior a $i = 100 \text{ mm h}^{-1}$, no período de 35,5 minutos.

FIGURA 18 – Exemplo de uso do Módulo “Intensidade-Duração-Frequência da precipitação pluviométrica para localidades brasileiras”, para o cálculo da duração da precipitação (t).

INTENSIDADE-DURAÇÃO-FRQUÊNCIA DA PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA PARA LOCALIDADES BRASILEIRAS

Latitude e longitude da cidade/ local:
Latitude: 25° 25' 40" S
Longitude: 49° 16' 23" W

Equação intensidade-duração-frequência e seus parâmetros:

$$i = \frac{a \cdot T^b}{(t + c)^d}$$

a: 5950,00 **b:** 0,22 **R²:** ad. ⁽¹⁾
c: 26,00 **d:** 1,15 **NSE:** ad. ⁽¹⁾
Validade: minutos

Cálculo da intensidade, duração ou período de retorno:

Período de retorno (T ; anos): $P(i \geq i_t)$: 5,0 (%) ⁽²⁾
Tempo (t ; minutos):
Intensidade (i ; mm / hora): **Calcular**

Referência dos parâmetros da equação:
SOUZA (1959), citado em FESTI, A. V. Coletânea das equações de chuvas no Brasil. XII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, São Paulo, 2007.

⁽¹⁾ R^2 - Coeficiente de determinação obtido no ajuste dos parâmetros da equação intensidade-duração-frequência (adimensional); NSE - coeficiente de eficiência
⁽²⁾ $P(i \geq i_t)$ - Probabilidade do evento intensidade de precipitação pluviométrica i_t , ser igualado ou superado (%)

FONTE: O autor (2021)

O período de retorno (T) também pode ser calculado com o Módulo (FIGURA 19). Desta forma, permanecendo-se com a opção pela cidade de Curitiba e escolhendo-se o período de retorno (T) na caixa de opção, ao considerar-se como entradas $t = 30$ minutos e $i = 150 \text{ mm h}^{-1}$, tem-se como resultando $T = 79,2$ anos. Portanto, espera-se que uma chuva com $i \geq 150 \text{ mm h}^{-1}$ e $t = 30$ minutos ocorra em média somente a cada 79,2 anos, podendo ser considerado um evento raro, com probabilidade $P(i \geq 150 \text{ mm h}^{-1}) = 1,3\%$.

FIGURA 19 – Exemplo de uso do Módulo “Intensidade-Duração-Frequência da precipitação pluviométrica para localidades brasileiras”, para o cálculo do período de retorno (T).

INTENSIDADE-DURAÇÃO-FREQÜÊNCIA DA PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA PARA LOCALIDADES BRASILEIRAS

Latitude e longitude da cidade/local:
Latitude: 25° 25' 40" S
Longitude: 49° 16' 23" W

Equação intensidade-duração-frequência e seus parâmetros:

$$i = \frac{a \cdot T^b}{(t + c)^d}$$

a: 5950,00 **b:** 0,22 **R²:** ad.⁽¹⁾
c: 26,00 **d:** 1,15 **NSE:** ad.⁽¹⁾
Validade: minutos

Cálculo da intensidade, duração ou período de retorno:

Período de retorno (T ; anos): **79,2** $P(i \geq i_j)$: **1,3** (%)⁽²⁾
Tempo (t ; minutos): **30,0**
Intensidade (i ; mm/hora): **150,0** **Calcular**

Referência dos parâmetros da equação:

SOUZA (1953), citado em FESTI, A. V. Coletânea das equações de chuvas no Brasil. XII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, São Paulo, 2007.

⁽¹⁾ R^2 - Coeficiente de determinação obtido no ajuste dos parâmetros da equação intensidade-duração-frequência (adimensional); NSE - coeficiente de eficiência

⁽²⁾ $P(i \geq i_j)$ - Probabilidade do evento intensidade de precipitação pluviométrica i_j , ser igualado ou superado (%)

FONTE: O autor (2021)

Na escolha das opções para o cálculo da intensidade de precipitação (i), tempo de ocorrência (t) ou período de retorno (T) a utilização de variáveis de entrada fora do limite de validade das curvas intensidade-duração-frequência podem retornar valores inconsistentes. Nesta situação, o Módulo desenvolvido realiza e solta o resultado, mas apresenta uma mensagem avisando que o valor calculado não tem significado físico. Na FIGURA 20 tem-se um exemplo de inconsistência que houve em Curitiba, quando realizou-se a estimativa do tempo de retorno (T), que foi inferior a um ano. Abaixo estão os avisos que poderão ser liberados, por *MsgBox*, nos casos em que os valores das entradas utilizadas para os cálculos de i , T e t forem inconsistentes:

- "O período de retorno (T) ou tempo de duração (t) do evento, utilizado como entrada, resultou em valor inconsistente da intensidade de precipitação (i)."
- "O período de retorno (T) ou intensidade de precipitação (i) do evento, utilizado como entrada, resultou em valor inconsistente do tempo de duração (t)."

– "O tempo de duração (t) ou intensidade de precipitação (i) do evento, utilizado como entrada, resultou em valor inconsistente do período de retorno (T) e, conseqüentemente, da probabilidade associada."

FIGURA 20 – Exemplo de uso do módulo "intensidade-duração-frequência" da precipitação pluviométrica, quando se chega ao cálculo de valor inconsistente: cálculo do período de retorno (T).

The screenshot displays a software application window titled "INTENSIDADE-DURAÇÃO-FREQUÊNCIA DA PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA PARA LOCALIDADES BRASILEIRAS". The interface includes a menu bar with "Voltar", "Estado:", "Cidade:", "Intensidade, duração ou frequência:", and "Planilha: Informação e como citar". The main area contains input fields for "Paraná - PR" and "Curitiba", and a "Período de retorno (T)" field. A calculation box shows the equation $i = \frac{a \cdot T^b}{(t + c)^d}$ with parameters $a: 5950,00$, $b: 0,22$, $c: 26,00$, $d: 1,15$, and R^2 , NSE , $Validade$. A table shows calculated values: "Período de retorno (T, anos): 0,0", "Tempo (t, minutos): 60,0", and "Intensidade (i, mm / hora): 10,0". A map of Brazil is shown at the bottom. An error dialog box is overlaid on the interface, stating: "O tempo de duração (t) ou intensidade de precipitação (i) do evento, utilizado como entrada, resultou em valor inconsistente do período de retorno (T) e, conseqüentemente, da probabilidade associada."

FONTE: O autor (2021)

5 CONCLUSÕES

As chuvas intensas são responsáveis por causar muitos danos e prejuízos em áreas rurais e urbanas, pois podem ter como consequência alagamentos, enchentes e deslizamentos. Por isso, o ajuste de equações "Intensidade-Duração-Frequência" para as diversas regiões brasileiras é extremamente importante para o planejamento da engenharia de água e solo nestas localidades.

O levantamento realizado identificou 1435 localidades contendo estudos com o ajuste dos parâmetros (a , b , c e d) para a equação "Intensidade-Duração-Frequência". Contudo, há grande disparidade no número de localidades entre as regiões brasileiras. A região Sul não possui muitos dados disponíveis sobre os parâmetros da equação das chuvas para seus municípios. Em contrapartida, grande parte dos Estados do Nordeste se encontra bem representado em relação à quantidade de dados disponíveis.

Dentre os parâmetros da equação de Intensidade-Duração-Frequência o parâmetro a apresentou a maior média ($\bar{a} = 1454,22 \text{ mm h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) e dispersão. O parâmetro b ($\bar{b} = 0,17$) possui os menores valores e dispersão, sendo todos valores inferiores a um. Apenas o parâmetro c ($\bar{c} = 14,39$ minutos) apresentou valores negativos. O parâmetro d ($\bar{d} = 0,78$) apresentou valores próximo a um para as localidades levantadas, variando entre 0,3835 e 1,3758 ($\sigma_d^2 = 0,01161$).

6 REFERÊNCIAS

ALMEIDA, R. A.; PEREIRA, S. B.; COELHO, C. D.; SOUZA, D. A. N. Precipitação pluvial média mensal e anual nas regiões político-administrativas do Brasil. **Revista Engenharia na Agricultura**, v. 23, n. 2, 2015.

ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. 2018. Rede Hidrometeorológica Nacional. Disponível em: <dadosabertos.ana.gov.br/datasets/8014bf6e92144a9b871bb4136390f732/about> Acesso em: 14 set. 2021.

ARAGÃO, R; SANTANA, G. R; COSTA, C. E. F. F; CRUZ, M. A. S; FIGUEIREDO, E. E; SIRINIVASAN, V.S. Chuvas intensas para o estado de Sergipe com base em dados desagregados de chuva diária. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v. 17, n. 3, p. 243-252. Campina Grande, 2013.

ARAÚJO, L. E.; SOUSA, F. A. S.; RIBEIRO, M. A. F. M.; SANTOS, A. S. S.; MEDEIROS, P. C. M. Análise estatística de chuvas intensas na bacia hidrográfica do Rio Paraíba. **Revista Brasileira de Meteorologia**. v. 23, n. 2, p. 162-169, 2008.

BACK, J. B; HENN, A; OLIVEIRA, J. L. R. Heavy rainfall equations for Santa Catarina, Brazil. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 35, n. 6, 2011.

BACK, A. J; CADORIN, S. B. Chuvas extremas e equações intensidade-duração-frequência para o Estado do Acre. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, v. 55, n. 2, p. 159-170, 2020.

BACK, A. J; CADORIN, S. B; GALATTO, S. L. Extreme rainfall and IDF equations for Alagoas State, Brazil. **Revista Ambiente e Água**, v. 15, n. 6, 2020.

BRAGA, R. N. S; HORA, M. A. G. M; LYRA, G. B; NASCESTES, A. L. Determinação e interpolação dos coeficientes das equações de chuvas intensas para cidade do Rio de Janeiro. **Revista Ambiente e Água**, v. 13, n. 1, 2018.

BEIJO, L. A. **Distribuição de Gumbel: estudo de métodos de estimação dos parâmetros e ajuste aos dados de precipitação máxima de Lavras**. 2002. 91 f. Dissertação (Mestrado Estatística e Experimentação Agropecuária) – Universidade Federal de Lavras, Lavras (MG). Disponível em: <<http://repositorio.ufla.br/handle/1/30904>>. Acesso em: 16 jun. 2021.

CALVETTI, L; BENETI, C; PEREIRA FILHO, A. J. Integração do radar meteorológico Doppler do SIMEPAR e uma rede de pluviômetros para a estimativa da precipitação. Anais XI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR, Belo Horizonte, MG, p. 1137-1144, 2003.

CAMPOS, A. R.; SANTOS, G. G.; SILVA, J. B. L.; IRENE FILHO, J.; LOURA, D. S. Equações de intensidade-duração-frequência de chuvas para o estado do Piauí. **Revista Ciência Agronômica**, v. 45, n. 3, 2014

CAMPOS, A. C; SANTOS, G. G; ANJOS, J. C. R; ZAMBONI, D. C. S; MORAES, J. M. F. Equações de intensidade de chuvas para o estado do Maranhão. **Revista Engenharia na Agricultura**, Viçosa (MG), v. 23, n.5, p. 435-447, 2015.

CAMPOS, A. R; SILVA, J. B. L; SANTOS, G. G; RATKE, R. F; ARQUINO, I. O. Estimate of intense rainfall equations parameters for rainfall stations of the Paraíba state, Brazil. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, GO, v. 47, n.1, p. 15-21, 2017.

COLLISCHONN, B.; ALLASIA, D.; COLLISCHONN, W.; TUCCI, E. M. T. Desempenho do satélite TRMM na estimativa de precipitação sobre a bacia do Paraguai Superior. **Revista Brasileira de Cartografia**, n. 59/01, 2007.

COSTA, M. S. **Padrão atmosférico dos eventos de precipitação fraca e intensa no semiárido do Nordeste do Brasil**. 2018. 138 f. Tese (doutorado) – Centro de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2018.

COUTINHO, E. C.; ROCHA, E. J. P.; LIMA, A. M. M.; RIBEIRO, H. M. C.; GUTIERREZ, L. A. C. L.; BARBOSA, A. J. S.; PAES, G. K. A. A.; BISPO, C. J. C.; TAVARES, P. A. Variabilidade climática da precipitação na Bacia Amazônica brasileira entre 1982 e 2012. **Revista Brasileira de Climatologia**, ano 14, v. 22, 2018.

EPAGRI – EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA E EXTENSÃO RURAL DE SANTA CATARINA. Danos causados pelas chuvas de setembro de 2013 na Agricultura de Santa Catarina. Disponível em: <http://docweb.epagri.sc.gov.br/website_cepa/Informativos/Outros/Chuvas_setembro_2013.pdf>. Acesso em: 14 set. 2021.

EPA – UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Climate change indicators: heavy precipitation. Disponível em: <epa.gov/climate-indicators/climate-change-indicators-heavy-precipitation>. Acesso em 17 abr. 2021.

FESTI, A. V. Coletânea das equações de chuvas no Brasil. XII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, São Paulo, 2007.

FIORIO, P. R; DUARTE, S. N; RODRIGUES, G. O; MIRANDA, L. H; COOKE, R. A. Comparação de equações de chuvas intensas para localidades do estado de São Paulo. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal (SP), v. 32, n. 6, p. 1080-1088, 2012.

FREITAS, A. J; SILVA, D. D; PRUSKY, F. F. Equações de chuvas intensas no estado de Minas Gerais. Companhia de Saneamento de Minas Gerais - MG. Belo Horizonte, 2001.

GARCIA, S. S. **Equações de chuvas intensas para sete localidades do Estado do Mato Grosso**. 2010. 78f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos) - Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá (MT), 2010.

GARCIA, S. S; AMORIN, R. S. S; COUTO, E. G; STOPA, W. H. Determinação da equação intensidade-duração-frequência para três estações meteorológicas do Estado de Mato Grosso. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande (PB),v. 15, n. 6, p. 575-581, 2011.

GONÇALVES, L. S. **Relações intensidade-duração-frequência com base em estimativas de precipitação por satélite**. 2011. 117 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre (RS). Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/49152/000829742.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 21 jun. 2021.

GONÇALVES, L. J; TAGLIAFERRE, C; CASTRO FILHO, M. N.; BRITO NETO, L. R.; SILVA, B. L.; ROCHA, F. A. Determinação da equação intensidade-duração-frequência para algumas localidades do estado da Bahia. Irriga, Botucatu, Edição Especial Inovagri – notas técnicas, v. 1, n. 1, p. 109-115, 2019.

HARTWIG, M. P. Apostila de Hidrologia. Instituto Federal Rio-sul-grandense, Universidade Aberta do Brasil, Tecnologias de Comunicação e Informação nos Cursos de Graduação – TICs. 2012.

IAPAR – INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ. Atlas climática do estado do Paraná. Londrina, PR, p. 210. 2019.

INMET – INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. Nota Técnica n ° 001/2011/SEGER/LAIME/CSC/INMET. Rede de Estações Meteorológicas Automáticas do INMET. 2011.

INMET – INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. Danos sociais e econômicos decorrentes de desastres naturais em consequência de fenômenos meteorológicos no Brasil: 2010-2019. Disponível em : <<https://portal.inmet.gov.br/uploads/publicacoesDigitais/impactos-clima-2010-20192.pdf>>. Acesso em 7 nov. 2021a.

INMET – INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. Saiba os passos para a elaboração da previsão do tempo. Disponível em: <portal.inmet.gov.br/sobre-meteorologia>. Acesso em 19 abr. 2021b.

KLEIN, N. M; SANTOS, A. T; ECHER, E. Equações de chuvas intensas para o Oeste de Santa Catarina. XV Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, nov. 2020.

LIMA, L. S; AGUA, F. N; BARTELS, G. K; BONCZYNSKI, R. G; WECKER, G. A; COLLARES, G. L. Performace de pluviógrafos de básculas “tipping bucket” sob chuva simulada. XXIII Congresso de iniciação científica da Univesidade Federal de Pelotas, Pelotas, RS, set. 2014.

LORENZONI, M. Z; PRADO, G; REZENDE, R; MALLER, A; OLIVEIRA, J. M. Chuvas intensas para a microrregião de Cianorte/PR, Brasil: uma avaliação a partir da desagregação de chuva diárias. **Revista Enciclopédia Biosfera**, v. 9, n. 17, 2013.

LORENZONI, M. Z; PRADO, G; SOUZA, A. H. C; REZENDE, M. K. A; MIOTO, L. S. Curvas intensidade-duração-frequência de chuvas intensas de Cidade Gaúcha e Guaporema - PR. XLII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, Campo Grande, MS. Jul. 2014.

MACHADO, M. A. M; SILVA, E. D. B. Estimativa de chuvas intensas para o oeste de Minas Gerais e o entorno do reservatório da Usina Hidrelétrica de Furnas. **Revista Conexão Ciência**, v.16, n. 2, 2011.

MAPA – MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. Plano diretor de tecnologia da informação (PDTI) 2020-2021. Disponível em: <<https://portal.inmet.gov.br/plano/planodiretor#>>. Acesso em: 03 nov. 2021.

MARCELINO, E. V.; Desastres Naturais e Geotecnologias: Conceitos Básicos. INPE, Santa Maria, 2008.

MAZZOGLIO, P.; LAIO, F.; BALBO, S.; BOCCARDO, P.; DISABATO, F. Improving an Extreme Rainfall Detection System with GPM IMERG data. **Remote Sensing**, v. 11, n. 6, p. 677, 2019.

MELLO, C. R; LIMA, J. M; SILVA, A. M; MELLO, J. M; OLIVEIRA, M. S. Kligagem e inverso do quadrado da distância para interpolação dos parâmetros da equação de chuvas intensas. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 27, n. 5, p. 925-933, 2003.

MENDONÇA, E. A. **Análise da precipitação nas mesorregiões do Estado de Pernambuco**. 2016. 106 f. Dissertação (Doutorado em Metodologia) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande (PB). Disponível em: < <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/handle/riufcg/1438>>. Acesso em: 17 jun. 2021.

MIGUEL, B. H; RENNÓ, C. D. Validação de estimativas de precipitação por radar meteorológico em uma bacia hidrográfica na região central do estado de São Paulo, Brasil. *Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ*, v. 43, p. 325-339, 2020.

MOCELIN, L. K.; SOUZA, J. L. M. Estimativa da intensidade-duração-frequência das precipitações pluviiais máximas em localidades brasileiras. In: *Semana Integrada de Ensino, Pesquisa e Extensão: XVIII Encontro das Atividades Formativas - ENAF (2019: Curitiba)*. Livro de Resumos. Curitiba: UFPR, 2019.

MOL, J. M. D. **Estimativa de precipitação por meio de sensoriamento remoto**. 2005. 88 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) – Universidade de Brasília, Brasília (DF). Disponível em: < <http://ptarh.unb.br/wp-content/uploads/2017/03/JulianaMaria.pdf> >. Acesso em: 12 set. 2021.

MONTEIRO, M; BRAGA, E. Análise da equação IDF de Manaus. V seminário internacionalem ciências do ambiente e sustentabilidade na Amazônia. Manaus (AM), 2018.

NERY, J. T.; SIQUEIRA, B. Índice de anomalia de chuva aplicado ao estudo das precipitações no estado do Paraná. **Revista Brasileira de Climatologia**, ano 16, v. 27, 2020.

OLIVEIRA, L. F. C; CORTÊS, F. C; WEHR, T. C; BORGES, L. B; SARMENTO, P. H. L; GRIEBELER, N. P. Intensidade-Duração-Frequência de Chuvas Intensas para Localidades no Estado de Goiás e Distrito Federal. **Revista Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiás, v. 35, n.1, p. 15-18, 2005.

PEREIRA, L. O; GALVANI, E. Eventos pluviiais extremos: análise comparativa entre observações de radar e pluviômetros de superfície. Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo, FFLCH/USP, 2008.

PEREIRA, D. C; DUARTE, L. R; SARMENTO, A. P. Determinação da curva de intensidade, duração e frequência do município de Ipameri – Goiás. **Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, v. 13, n. 2, p. 233-246, 2017.

PINTO, F. R. L. Equação de intensidade-duração-frequência para os Estados do Rio de Janeiro e Espírito Santo. Universidade Federal de Viçosa - MG. Viçosa, 1999.

PRÓLO, T. T; SILVA NETO, V. L; CARMO, E. L; SILVEIRA JÚNIOR, O; SILVA, L. L. Equações de chuvas intensas para o sudeste do estado do Tocantins, Brasil. **Revista Sítio Novo**, Palmas, TO, v. 5, n. 2, p. 26-35, 2021.

QUEIRÓZ JUNIOR, A. C; ENCARNAÇÃO, V. M. B; SCARAMUSSA, P. H. M. Equações de chuvas intensas para o Estado do Amapá. XVIII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia. Belém -PA, set 2013.

RIBEIRO, B. F. **Plataforma de prototipagem arduino aplicada ao desenvolvimento de pluviômetro automático com armazenamento local e conexão GSM/GPRS**. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) - Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, RN, 2019.

SABINO, M. **Intensidade-duração-frequência de precipitação máxima em Mato Grosso**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Física, Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental, Cuiabá, MT, 2018.

SANTOS, G. G; FIGUEIREDO, C. C; OLIVEIRA, L. F. C; GRIEBELER, N. P. Intensidade-duração-frequência de chuvas para o Estado de Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande (PB), v. 13, (suplementado), p. 899-905, 2009.

SANTOS, G. G.; GRIEBELER, N. P., OLIVEIRA, L. F. C. Chuvas intensas relacionadas à erosão hídrica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 2, p. 115-123, 2010.

SANTOS, A. S. P. **Análise de desempenho dos campos de chuva estimados pelo satélite TRMM na Paraíba, para fins de modelagem hidrológica distribuída**. 2014. 128 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana e Ambiental) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa (PB). Disponível em: <repositorio.ufpb.br/jspui/handle/tede/5541?locale=pt_BR>. Acesso em: 03 nov. 2021.

SANTOS, R. A. Cálculo da chuva intensa pelo método das Isozonas para cidades do estado da Paraíba. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 19, n. 2, p. 1334-1343, 2015a.

SANTOS, W. O. Máximas intensidade e índices de erosividade de chuvas para o Rio Grande do Norte. 2015. 125 f. Dissertação (Doutorado em Manejo de Solo e Água) - Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró (RN). 2015b.

SILVA, D. D.; PINTO, F. R. L. P.; PRUSKI, F. F.; PINTO, F. A. Estimativa e espacialização dos parâmetros da equação de intensidade-duração-frequência da precipitação para os Estados do Rio de Janeiro e Espírito Santo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 18, n. 1, p. 11-21, 1999.

SILVA, D. D; GOMES FILHO, R. R; PRUSKI, F. F; PEREIRA, S. B; NOVAES, L. F. Chuvas intensas no Estado da Bahia. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 6, n. 2, p. 362-367, 2002.

SILVA, D. D; PEREIRA, S. B; PRUSKI, F. F; GOMES FILHO, R. R; LANA, A. M. Q; BAENA, L. G. N. Equações de Intensidade-Duração-Frequência da Precipitação Pluvial para o Estado de Tocantins. **Revista Engenharia na Agricultura**. v. 11, n. 1-4, 2003.

SILVA, B. M. **Chuvas intensas em localidades do Estado de Pernambuco**. 2009. 116 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife (PE). Disponível em: < <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/5222> >. Acesso em: 14 jun. 2021.

SIMEPAR – SISTEMA DE TECNOLOGIA E MONITORAMENTO AMBIENTAL DO PARANÁ. Monitoramento e previsão meteorológica. Disponível em: <simepar.br/prognozweb/simepar/page/14>. Acesso em 19 abr. 2021.

SOUZA, J. A. **Estudo das chuvas intesas nas zonas rural e urbana de João Pessoa**. 1972. 87 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande (PB), 1972.

SOUZA, R. O. R. M; SCARAMUSSA, P. H. M; AMARAL, M. A. C. M; PEREIRA NETO, J. A; PANTOJA, A. V; SADECK, L. W. R. Equações de chuvas intensas para o Estado do Pará. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 9, p. 999-105, 2012.

SOUZA, V. A. S; DIAS, R. H. S; SILVA FILHO, E. P; NUNES, M. L. A; ANDRADE, C. D; ROSA, A. L. D. Determining IDF equations for the State of Rondônia. **Revista Brasileira de Climatologia**, ano 12, v. 18, 2016.

SOUZA, J. L. M. Fundamentos de hidrologia, irrigação e drenagem: notas de aula. Curitiba, Plataforma Moretti/DSEA/SCA/UFPR, 2019. (Manual didático).

SOUZA, G. R; BELLO, I. P; OLIVEIRA, L. F. C; CORRÊA, F. V. Heavy rainfall maps in Brazil to 5 year return period. **Revista Ambiente e Água**, v. 14, n. 5, 2019.

SUDERHSA – SUPERINTENDÊNCIA DE DESENVOLVIMENTO DE RECURSOSHÍDRICOS E SANEAMENTO AMBIENTAL. Plano diretor de drenagem para a Bacia do Rio Iguaçu na Região Metropolitana de Curitiba. Governo do Paraná. Dez. 2002.

TERASSI, P. M. B; OLIVEIRA JUNIOR, J. F; GALVANI, E; GOIS, G. Frequência e intensidade pluviométrica na Região Norte do Estado do Paraná, Brasil. **Revista do Departamento de Geografia**, Universidade Federal de São Paulo – USP, v. 35, p. 121-133, 2018.

TISCHER, L. P. **Equações de chuvas intensas no estado de Roraima**. 2015. 76 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Roraima, Boa Vista (RR), 2015.

TORRICO, J. J. T. Práticas hidrológicas. 2 ed. Rio de Janeiro: Transcom. 1974.

TUCCI, C. E. M. Hidrologia: ciência e aplicação. 2 ed. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS, 2001.

VAREJÃO-SILVA, M. A; **Meteorologia e climatologia**. Versão digital 2, Recife, 2006.

VIANELLO, R. L. A estação meteorológica e seu observador: uma parceria secular de bons serviços prestados à humanidade. Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). 2011.

VIEIRALVES, G. F; TORRES, A. E; ASSAYAG, E. S. Equação de chuvas: casos Parintins, Barreirinha, Boa Vista do Ramos, Maués e Nhamundá. XL Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia. Belém-PA, 2012.

VOLK, L. B. S.; COGO, N. P.; STRECK, E. V. Erosão hídrica influenciada por condições físicas de superfície e subsuperfície do solo resultantes do seu manejo, na ausência de cobertura vegetal. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 763-774, 2008.