

ANÁLISE DA DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DA INTENSIDADE PLUVIOMÉTRICA NO MUNICÍPIO DE SALVADOR

ANALYSIS OF THE SPATIAL DISTRIBUTION OF RAINFALL INTENSITY IN THE MUNICIPALITY OF SALVADOR USING CEMADEN DATA

André Luis de Oliveira Almeida Santos^a, Lafayette Dantas da Luz^a

^aEngenheiro Sanitarista e Ambiental pela Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia, Professor do Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente, Águas e Saneamento, Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia

andreluisoasantos@gmail.com, lluz@ufba.br

Submissão: 06 abril de 2024

Aceitação: 18 agosto de 2024

RESUMO

O estudo das chuvas intensas é crucial para grandes centros urbanos devido aos desastres naturais que podem causar. Na região litorânea do Nordeste, incluindo-se Salvador, essas chuvas são comuns durante todo o ano, não apenas no período chuvoso. Salvador, sendo um dos maiores centros urbanos da região, enfrenta riscos de alagamentos, inundações e deslizamentos de terra. Este trabalho analisou o comportamento das chuvas intensas em Salvador para identificar áreas de maior pluviosidade e apoiar o planejamento urbano. Utilizando-se dados de 20 estações pluviométricas, foram calculadas as curvas IDF (Intensidade-Duração-Frequência) para eventos de diferentes durações (10 min, 30 min, 1 h, 6 h e 24 h) e tempos de retorno (5, 10, 25, 50 e 100 anos). A análise gerou mapas de intensidade pluviométrica e revelou que as zonas de alta intensidade variam com a duração das chuvas. Para chuvas de curta duração (10 min, 30 min e 1 h), as áreas com chuvas mais intensas foram próximas às estações de (a) Mussurunga e Itapuã, (b) Centro, São Caetano, Fazenda Grande e Monte Serrat, e (c) Periperi e Rio Sena. Em chuvas mais longas (6 h e 24 h), destacou-se uma macrozona ao redor das estações de São Caetano, Fazenda Grande, Tancredo Neves, CAB e Cabula. Observou-se que áreas litorâneas tendem a ter mais chuvas intensas de curta duração, enquanto a região central do município registra totais de precipitação maiores em eventos de mais longa duração.

Palavras-chave: Séries parciais; curvas IDF; análise espacial.

ABSTRACT

The study of intense rainfall is crucial for large urban centers due to the potential natural disasters it can cause. In the coastal region of the Northeast, including Salvador, such rainfall is common throughout the year, not just during the rainy season. As one of the largest urban centers in the region, Salvador faces risks of flooding, inundation, and landslides. This study analyzed the behavior of intense rainfall in Salvador to identify areas of higher precipitation and to support urban planning. Using data from 20 rain gauge stations, IDF (Intensity-Duration-Frequency) curves were calculated for events of different durations (10 min, 30 min, 1 h, 6 h, and 24 h) and return periods (5, 10, 25, 50, and 100 years). The analysis produced rainfall intensity maps and revealed that high-intensity zones vary depending on rainfall duration. For short-duration rainfall (10 min, 30 min, and 1 h), the areas with the most intense rainfall were near the stations of (a) Mussurunga and Itapuã, (b) Centro, São Caetano, Fazenda Grande, and Monte Serrat, and (c) Periperi and Rio Sena. For longer-duration rainfall (6 h and 24 h), a macrozone around the stations of São Caetano, Fazenda Grande, Tancredo Neves, CAB, and Cabula was identified. It was observed that coastal areas tend to experience more intense short-duration rainfall, while the central region of the city records higher total precipitation for long-duration events.

Key Words: Partial duration Series; IDF curves; spatial analysis.

1 INTRODUÇÃO

O estudo das precipitações intensas é crucial para cidades modernas devido ao impacto significativo na infraestrutura e na vida urbana. A urbanização intensifica o escoamento superficial, aumentando as cheias e sobrecarregando as estruturas de drenagem (Tucci, 2014). A falta de planejamento de drenagem e o crescimento desordenado aumentam os riscos de alagamentos e deslizamentos.

Para mitigar esses problemas, é essencial o planejamento urbano, como a elaboração de Planos Diretores de Drenagem, que consideram as chuvas intensas e ajudam na implementação de medidas eficazes e de baixo custo.

A variabilidade espacial das chuvas intensas é um tema central em estudos recentes, refletindo a complexidade e a importância de medições precisas para a gestão de recursos hídricos e planejamento urbano.

O estudo de Maier *et al.* (2020) destaca a importância da resolução espacial nas medições de precipitação em ambientes urbanos. A pesquisa revelou que chuvas intensas apresentam maior variabilidade espacial quando comparadas a chuvas de baixa e média intensidade. A correlação entre as estações pluviométricas diminui significativamente durante eventos intensos, indicando que a redução no número de medições pode causar desvios substanciais na estimativa de precipitação, chegando a 45% para eventos com longos períodos de retorno, enfatizando a necessidade de alta densidade de medições para capturar a variabilidade espacial.

O estudo de Cheung, Rasuly e Chang (2021) sobre Sydney analisou a variabilidade espacial das chuvas intensas. Utilizando o Índice de Concentração de Precipitação Diária (DPCI), a pesquisa identificou quatro zonas com alta concentração de precipitação intensa. A análise associa essas zonas a atividades intensas de chuvas e tempestades severas, sublinhando a importância da compreensão da distribuição espacial para o planejamento urbano e gestão de riscos.

Já o estudo de Ferreira e Mendes (2024) em Recife, usou geoestatística para mapear a variabilidade espacial das chuvas intensas, mostrando como a intensidade e a distribuição das chuvas variam neste espaço urbano. Afirmaram que a identificação de limiares críticos de precipitação auxilia na compreensão dos impactos e no desenvolvimento de estratégias de

planejamento para mitigar riscos.

Esses estudos mostram que a variabilidade espacial das chuvas intensas é complexa, exigindo medições detalhadas e uma compreensão profunda das diferenças regionais. As análises revelam que a densidade e a precisão das medições são cruciais para capturar a variabilidade e desenvolver modelos eficazes de previsão e gestão de recursos hídricos.

Salvador, uma cidade com crescimento desordenado, enfrenta problemas de alagamentos e deslizamentos (Afonso; Souza; Monteiro, 2010; Rocha, 2013). Localizada no Nordeste, a cidade tem alta incidência de chuvas intensas devido a eventos convectivos complexos (Ferreira; Mello, 2005).

Para enfrentar esses desafios, o Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN), vinculado ao Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, emite alertas, desenvolve estudos e melhora suas capacidades para gestão de desastres. Em Salvador, 20 estações pluviométricas automáticas do CEMADEN monitoram as chuvas desde 2014. Dada a limitação do curto período de monitoramento, foi utilizada a metodologia de séries parciais para analisar eventos extremos, permitindo compreender a distribuição espacial das chuvas intensas e apoiar o planejamento urbano.

O objetivo deste trabalho foi compreender a distribuição espacial das chuvas intensas em Salvador. A construção de curvas IDF para cada estação e a geoespacialização dos dados permitiram identificar zonas de maior intensidade, essenciais para apoiar o planejamento urbano.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Aspectos físicos do Município de Salvador

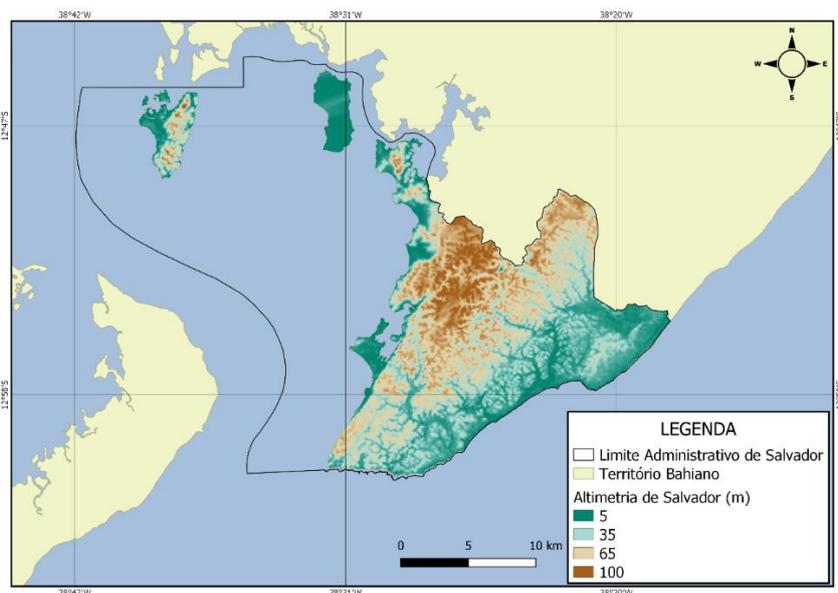
A caracterização do município de Salvador enfoca aspectos relevantes do estudo, incluindo a distribuição topográfica, os riscos associados à pluviosidade intensa e a cobertura vegetal existente.

Salvador apresenta uma topografia predominantemente composta por planaltos e vales, resultando em um relevo acidentado. A Figura 1 ilustra os dados de altimetria obtidos por meio do projeto TOPODATA, do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Esses dados, oriundos da missão SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), possuem uma resolução

espacial de 30 m por 30 m e uma resolução vertical de 1 metro, sendo adequados para escalas entre 1:100.000 e 1:250.000 (Valeriano, 2008). Para estudos futuros, poderiam ser utilizados dados com escala de 1:1000 disponibilizados pela Prefeitura de Salvador (<http://cartografia.salvador.ba.gov.br/index.php/dados-geoespaciais/baixar-dados-geoespaciais>), embora esses dados não tenham sido empregados neste estudo.

A Figura 1 mostra que a maior parte do município está a uma altitude abaixo de 65 metros, mas a distribuição altimétrica é desigual. A área próxima à Baía de Todos os Santos (BTS) apresenta um relevo mais acentuado, com variações bruscas entre 5 e 65 metros de altitude, sem muita gradação. Em contraste, a face leste do município exibe uma gradação altimétrica mais suave, resultando em uma região relativamente mais plana em comparação com a área próxima à BTS.

Figura 1 - Representação da Altimetria do município de Salvador



Fonte: TOPODATA (INPE, 2011).

Essa distribuição altimétrica contribui para os problemas de alagamentos, inundações e deslizamentos de terra no município. No caso dos alagamentos e inundações, Rocha (2013) mapeou essas ocorrências usando o método de Kernel, com dados de 1997 a 2010, fornecidos pelo acervo digital do jornal A Tarde (não acessados e usados neste estudo). A análise identificou os bairros Uruguai e Calçada como áreas críticas, além de Graça, Ondina, Imbuí e Brotas. A autora realizou uma análise mais detalhada no bairro Imbuí, destacando a declividade do terreno e sua relação com o tempo de concentração, além da extensa área impermeável na bacia hidrográfica de Pedras/Pituaçu, que engloba o bairro. Esta autora conclui que a falta de dados georreferenciados e de produtos cartográficos de pedologia, geologia e geomorfologia dificulta os estudos de vulnerabilidade hídrica no município.

Quanto aos deslizamentos de terra, embora

relacionados à vulnerabilidade hídrica, a conexão não é direta. Sato *et al.* (2018) mostram que deslizamentos de terra estão mais associados aos níveis de saturação do solo do que aos totais pluviométricos. Eles investigaram a relação entre a intensidade pluviométrica e os deslizamentos ocorridos em 2017, mas não encontraram correlação direta. Jesus *et al.* (2005) documentam deslizamentos desastrosos desde 1551, ressaltando a necessidade de uma análise mais concreta dos fatores que desencadeiam esses eventos no município, fundado em 1549. Sato *et al.* (2018) também criticam a ausência de normas municipais que orientem sobre o tempo de retorno para obras na cidade. O estudo observou que a maioria dos deslizamentos ocorridos em 2017 (14 casos) foi desencadeada por chuvas com intensidade inferior àquelas de 1 ano de tempo de retorno.

2.2 Chuvas em Salvador: processos em macro escala

A precipitação é evento da natureza complexa, sendo estudada por diversas áreas das ciências. Em obras conceituadas como Tucci (2014), Maidment (1993) e Barry e Chorley (2003) é possível encontrar um detalhamento quanto ao processo de formação das chuvas. Aqui, apresenta-se de forma resumida o processo de formação das chuvas, levando em consideração as principais características meteorológicas para a região estudada. Com isso, visa-se sintetizar algumas questões referentes ao processo de formação de chuvas e os fatores que influenciam as chuvas no município.

2.2.1 O Processo de Formação das Chuvas

A formação das chuvas depende de fatores como umidade atmosférica, temperatura, distribuição, *momentum* e velocidade dos ventos, além da altimetria do terreno. A umidade atmosférica é a principal fonte de água nesse sistema, mas, por si só, não caracteriza o fenômeno. Para que a umidade se precipite, é necessário um conjunto de fatores, sendo o principal a ascensão de uma massa de ar úmida. Essa ascensão favorece a saturação através de transformações adiabáticas na atmosfera. A partir dessa saturação, qualquer elevação ou ganho de umidade na massa de ar cria condições para a precipitação. Portanto, o processo de formação das chuvas é influenciado por fatores termodinâmicos, pela dinâmica das massas de ar e pelos mecanismos de crescimento das gotículas.

Em Salvador, os principais tipos de chuva são convectivas e frontais (Santos *et al.*, 2016). Segundo esses autores, as chuvas frontais são mais comuns no inverno, enquanto as convectivas podem ocorrer durante todo o ano. Barry e Chorley (2003) apontam que chuvas convectivas são geralmente de grande intensidade, curta duração e restritas a pequenas áreas. Tucci (2014) destaca que essas chuvas são as que mais contribuem para inundações.

2.2.2 Os Fatores Intervenientes na Precipitação em Salvador

Poucos estudos analisam os fatores que influenciam a ocorrência de chuvas na escala municipal. No entanto, há ampla literatura sobre os fatores que afetam o nordeste brasileiro, diferenciando entre a região litorânea e a interna.

Ferreira e Mello (2005), por exemplo, revisam os principais fatores climatológicos que impactam as chuvas na região nordeste. Nesta seção, discutem-se os processos que afetam especificamente a região litorânea do Nordeste, com foco no município de Salvador.

a) Zona de Convergência Intertropical:

A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) é um sistema meteorológico que se comporta como uma faixa próxima à linha do equador. Nessa faixa, os ventos alísios dos hemisférios norte e sul colidem, forçando a ascensão de massas de ar quentes e úmidas, o que resulta na formação de nuvens, intensa atividade convectiva e precipitação. A ZCIT que mais influencia a formação de chuvas no Nordeste é a que atua sobre o oceano Atlântico (Uvo; Nobre, 1989).

Segundo Souza, Alves e Nobre (1998), a posição da ZCIT varia conforme o padrão de dipolo da bacia do Atlântico Norte, que causa anomalias na temperatura da superfície do mar (TSM), gerando temperaturas opostas nos hemisférios e deslocando a ZCIT de sua posição habitual. Ferreira e Mello (2005) indicam que a ZCIT está mais próxima da latitude 14° N entre agosto e outubro e se desloca para a latitude 4° S entre fevereiro e abril. A Figura 2 ilustra a posição provável da ZCIT em janeiro e julho.

a) Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis:

Outro fator importante é a formação de vórtices ciclônicos de altos níveis, que são sistemas de baixa pressão na alta troposfera com circulação fechada e um centro mais frio (Morais; Gan, 2006). Na periferia desses vórtices, formam-se nuvens que causam chuvas, enquanto no centro ocorre subsidência (movimento de ar para baixo), aumentando a pressão e inibindo a formação de nuvens (Ferreira; Mello, 2005). Morais e Gan (2006) relatam que esses vórtices têm uma duração que varia de 2 a 11 dias, sendo mais comuns os vórtices com duração de 2 a 4 dias.

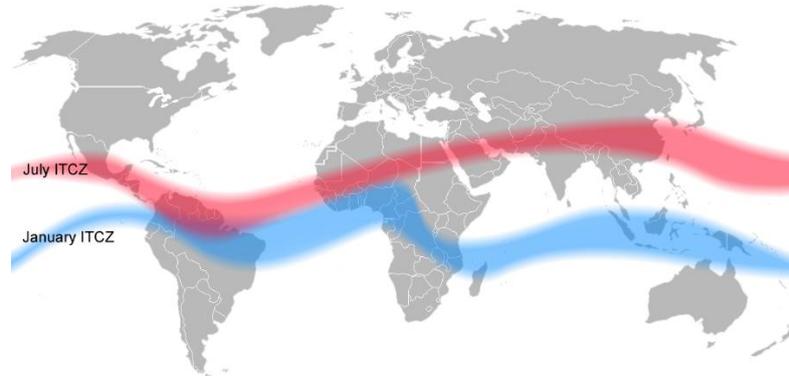
b) Linhas de Instabilidade

As linhas convectivas são aglomerados de convecção alinhados que causam chuvas fortes seguidas de precipitação estratiforme. Elas são influenciadas por características geográficas e variam muito no tempo e no espaço (Silva *et al.*,

2017). Ferreira e Mello (2005) apontam que sua formação está associada a processos convectivos e que elas influenciam a ocorrência de chuvas

especialmente à tarde e à noite, após o pico da radiação solar.

Figura 2- Representação da Zona de Convergência Intertropical em sua posição mais provável nos meses de julho e janeiro



Fonte: Halldin (2006).

c) Complexos Convectivos de Mesoescala

Outro fator importante são os Complexos Convectivos de Mesoescala (CCM). Lyra *et al.* (2018) descrevem os CCM como sistemas de nuvens frias com crescimento vertical explosivo, com duração entre 6 e 12 horas. Esses sistemas ocorrem predominantemente nos meses de verão e de outono. As chuvas associadas aos CCM são intensas, de curta duração e geralmente acompanhadas de fortes rajadas de vento, podendo causar alagamentos, inundações e deslizamentos de terra (Lyra *et al.*, 2018; Ferreira; Mello, 2005).

d) Distúrbios Ondulatórios de Leste

Os distúrbios ondulatórios de leste (DOLs) são ondas de nuvens geradas na zona de convergência da faixa tropical do Atlântico e normalmente se deslocam de leste para oeste, da costa da África para o litoral do Brasil (Santos *et al.*, 2012). Neves, Alcântara e Souza (2016) apontam que, embora os DOLs sejam mais estudados no hemisfério norte, onde são precursores de tempestades, no hemisfério sul, especialmente na região nordeste, eles ocorrem ao longo do ano, com maior intensidade nos meses de maio e junho.

e) El Niño e La Niña

Outro fator importante são os fenômenos El Niño e La Niña, associados a variações anormais

na temperatura das águas do Oceano Pacífico equatorial. O El Niño está ligado ao aquecimento anormal, enquanto o La Niña ao resfriamento anormal. Xavier *et al.* (2003) avaliaram a influência desses eventos na posição média da ZCIT, verificando que o El Niño favorece o deslocamento da ZCIT para latitudes ao sul da linha do Equador, o que se relaciona com secas na região semiárida do Nordeste brasileiro, impactando também a faixa litorânea, o que pode resultar em anos mais secos para Salvador. Por outro lado, o La Niña provoca a migração da ZCIT para latitudes ao norte da linha do equador, favorecendo chuvas na parte litorânea do Nordeste e, conseqüentemente, em Salvador.

2.2.3 Pluviometria no município de Salvador

No município de Salvador, existem ao todo 48 estações pluviométricas, sendo 26 geridas pela Defesa Civil de Salvador (CODESAL), 20 pelo CEMADEN e 2 pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). A Figura 3 apresenta a localização destas estações no município.

2.2.4 Metodologia de Séries Parciais

De acordo com Maidment (1993), existem duas abordagens principais para modelagem hidrológica: a série de máximos anuais e a série de dados parciais (ou POT - *Peaks-Over-Threshold*). Na metodologia de séries parciais, ao invés de usar os valores máximos anuais, considera-se cada evento extremo como independente e adota-se um limite (u) para selecionar valores extremos.

Essa abordagem é vantajosa para períodos de monitoramento inferiores a 12 anos (Tucci, 2014).

Figura 3 - Relação dos Pluviômetros no município por órgão gestor



Fonte: CODESAL (2020).

A metodologia de séries parciais supera a de séries anuais, pois evita a influência de anos secos que podem distorcer os dados de anos muito chuvosos. Contudo, ela requer ajustes no modelo de probabilidade, pois múltiplos eventos por ano afetam o tempo de recorrência (Maidment, 1993). Um parâmetro adicional, o valor médio de excedências por ano (v), é utilizado, com um valor recomendado de 1,65 para estimar satisfatoriamente valores extremos. Valores entre 2 e 3 também são adequados para séries anuais mais longas (Naguettini; Pinto, 2006). Além de v , a definição do limite u (referência para valores excedentes) é crucial. Yevjevich (1984) sugere o uso dos percentis 80 e 90 para definir esse limite. Ainda acerca da importância deste parâmetro, Naguettini e Pinto (2006) acrescentam:

Por tratar-se de processos estocásticos contínuos, é de se esperar que a dependência serial contida nas séries hidrológicas / hidrometeorológicas de duração parcial irá decrescer com o aumento do valor limiar u ou, contrariamente, irá crescer com o acréscimo da intensidade anual, v . De fato, um valor limiar suficientemente elevado, faz com que o número de excedências se torne relativamente

pequeno, enquanto o período entre os eventos que se torna relativamente grande; em consequência, as excedências tendem a se tornar independentes entre si (Naguettini; Pinto, 2006, p. 515).

2.3 Curvas IDF

De acordo com Tucci (2014), as curvas IDF (Intensidade – Duração – Frequência) são ferramentas essenciais para calcular a chuva de projeto com base em uma probabilidade de excedência específica. Para muitos problemas, especialmente em projetos de drenagem, entender a distribuição da precipitação ao longo do tempo é crucial para estabelecer parâmetros de projeto. A literatura oferece diversas abordagens para obter essas curvas, geralmente utilizando equações derivadas de processos de regionalização. Por exemplo, Festi (2007) apresenta uma coletânea de equações para diferentes municípios do Brasil, incluindo a equação para o município de Salvador.

No trabalho de Genovez e Zuffo (2000) são realizadas algumas comparações entre as curvas IDF produzidas para o Estado de São Paulo, fazendo críticas principalmente ao tamanho da série de dados e também ao fato de serem

utilizados dados de chuva com durações de um dia.

$$i_{m\acute{a}x} = \frac{1065,66 * T_R^{0,163}}{(t + 24)^{0,743}} \quad \text{Eq. 1 (Festi, 2007)}$$

Onde: $i_{m\acute{a}x}$ = Intensidade pluviométrica máxima (mm/h);

T_R = Tempo de recorrência a ser analisado em anos

T = duração da chuva em minutos.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Neste item são apresentados os dados utilizados e suas fontes, além dos procedimentos metodológicos adotados: a escolha dos Tempos de Recorrência analisados, a definição do método estatístico apropriado, o ajuste das curvas de Intensidade, Duração e Frequência (IDF), e a espacialização das informações de chuvas intensas conforme suas durações e recorrências. A espacialização possibilitou, então, as análises detalhadas apresentadas nos Resultados.

3.1 Dados de precipitação

Para o estudo, foram utilizados dados dos 20 pluviômetros automáticos de cubas basculantes do CEMADEN, instalados em Salvador (CEMADEN, 2020), com registros a cada 10 minutos. Os dados foram agregados para durações de chuva de 10 e 30 minutos, 1, 6 e 24 horas.

A Tabela 1 apresenta informações sobre esses pluviômetros. Observa-se que os pluviômetros mais antigos estão localizados nos bairros Centro, Cabula, São Tomé e Fazenda Grande, instalados em 2014, enquanto o mais recente foi instalado em Tancredo Neves em 2017. Das estações, 15 foram instaladas em 2014, 4 em 2016 e 1 em 2017. A Figura 4 mostra a distribuição espacial das estações pluviométricas do CEMADEN.

Os dados utilizados na pesquisa compreendem do início da operação destes pluviômetros até o dia 30 de setembro de 2020. Sendo assim, no máximo, as estações possuem 7 anos monitorados, quando é possível identificar períodos de falhas nos dados. A Figura 5 apresenta duas das formas de falhas encontradas ao longo do tratamento.

A primeira forma de falha identificada é a ausência de monitoramento, como mostrado no item a) da Figura 5. Por exemplo, o monitoramento registrado em 23/08/2018 (linha 51.449) é seguido por um período sem dados até 26/04/2019. No item b), o segundo tipo de falha é observado quando há monitoramento, mas sem registros de medição (indicado por "NA"). Essas falhas podem ser causadas por manutenção dos aparelhos ou problemas no registro dos dados.

Neste estudo, não foram aplicadas técnicas para preenchimento de falhas, pois a metodologia de séries parciais considera apenas eventos que superam um valor limite específico. Preencher dados ausentes em uma escala temporal tão pequena é inviável devido à alta incerteza e variabilidade.

A estimativa das chuvas intensas foi realizada usando o modelo probabilístico de chuvas máximas de Gumbel, com ajustes na equação conforme Naguettini e Pinto (2006) para aplicação em séries parciais. A seguir, são detalhadas as metodologias para definição dos tempos de retorno, ajuste do modelo de probabilidade, aplicação da metodologia de séries parciais e espacialização das informações.

3.2 Tempo de Retorno

Este trabalho seguiu as recomendações do *Manual de drenagem e manejo de águas pluviais: gerenciamento do sistema de drenagem urbana* (São Paulo, 2012), que estipulam que projetos de microdrenagem, como coletores de águas pluviais, sarjetas, bocas de lobo, galerias e canais de pequenas dimensões, devem ser dimensionados para períodos de retorno de até 10 anos. Por outro lado, sistemas de macrodrenagem, incluindo reservatórios, diques e canais de grandes dimensões, devem ser dimensionados para períodos de retorno de 50 e 100 anos. Portanto, os períodos de retorno considerados neste trabalho são: 5, 10, 25, 50 e 100 anos.

3.3 Distribuição probabilística para eventos extremos máximos

O modelo probabilístico utilizado foi a Distribuição de Gumbel, devido a sua larga utilização na modelagem de eventos extremos das variáveis hidrológicas. De acordo com Naguettini e Pinto (2006), este tipo de modelo é o mais utilizado para a determinação da relação intensidade –

duração – frequência. Sua função acumulada de probabilidade é apresentada a seguir:

$$FCP: P[X \leq x] = e^{-e^{-\alpha(x-\mu)}}$$

Eq. 2 (Tucci, 2014)

Sendo seus parâmetros calculados com as equações abaixo:

$$\alpha = \frac{1,2826}{s} \quad \text{Eq. 3 (Tucci, 2014)}$$

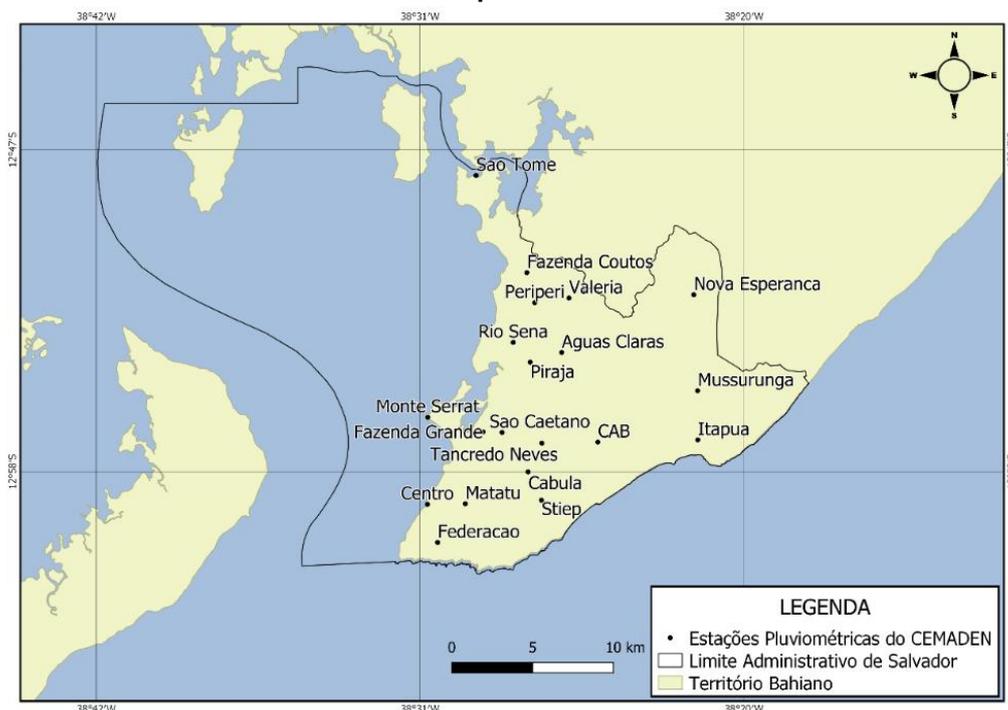
$$\mu = \bar{x} - 0,451 * s \quad \text{Eq. 4 (Tucci, 2014)}$$

Tabela 1 - Informações Gerais das Estações do CEMADEN

Código	Nome da Estação	Latitude	Longitude	Endereço	Início da Operação
292740801A	Pirajá	-12,89873	-38,458904	Rua Elisio Mesquita, s/n - Pirajá (EMBASA)	08/01/2014 18:23
292740802A	Centro	-12,978227	-38,51598	Rua do Sódre, n.276 - Dois de Julho (MAS)	01/01/2014 00:00
292740803A	Federação	-12,999573	-38,510283	Rua Aristides Novis, n02 - Federação (Politécnica)	01/04/2014 00:00
292740804A	Monte Serrat	-12,929516	-38,515789	Rua Rio São Francisco, n.01	01/02/2014 00:20
292740805A	Rio Sena	12,887687	-38,468258	Rua Rio Sena, s/n - Ilha Amarela (EMBASA)	08/01/2014 16:09
292740806A	São Tomé de	-12,794281	-38,488956	Travessia Lampejos do Leste com Cais Bravo (Base Naval)	01/01/2014 00:40
292740808A	Águas Claras	-12,893291	-38,441386	Rua Doutor Osvaldo José Leal, s/n (EMBASA)	14/02/2014 15:10
292740810A	Cabula	-12,960118	-38,460028	Avenida Silveira Martins, s/n - Cabula (19BC)	01/01/2014 00:00
292740811A	CAB	-12,943425	-38,421306	Rua São Jorge, s/n - Vila Nova Pituaçu (EMBASA)	09/01/2014 17:44
292740812A	Fazenda Grande	-12,937699	-38,485096	Rua do Oriente, n.89-115 - Fazenda Grande do Retiro	07/01/2014 20:29
292740814A	São Caetano	-12,938035	-38,474457	Vila dos Bancários, s/n (EMBASA)	12/02/2014 19:30
292740815A	Stiep	-12,975932	-38,452641	Avenida Tancredo neves, n/2782 - (HOSP. SARAH)	24/02/2014 17:10
292740816A	Matatu	12,97791636	38,49493836	Rua Barros Falcão, s/n - Cosme de Farias	20/02/2014 07:00
292740817A	Valéria	-12,862899	-38,437324	Rua Boca da Mata, s/n (EMBASA)	14/01/2014 17:42
292740818A	Nova Esperança	-12,861043	-38,368019	Estrada CIA-Aeroporto, s/n, km 6,5CIA (Aterro Metropolitano)	09/01/2014 13:22
292740819A	Itapuã	-12,942166	-38,365759	Rua Fernando Torres, n.01 - Itapuã	01/11/2016 00:00
292740820A	Periperi	12,86546833	38,45636989	Rua Manuel Lima - Estrada Velha de Periperi (Hospital do Subúrbio)	01/11/2016 00:00
292740821A	Mussurunga	12,91468624	38,36588993	Escola Municipal Padre Manoel Correia de Souza	17/12/2016 14:30
292740822A	Fazenda Coutos	12,84864317	38,46073761	Rua Almeida Coutos (Base Comunitária de Segurança - PMS)	01/11/2016 00:00
292740823A	Tancredo Neves	12,94400736	38,45240811	Escola Municipal Carlos Fomigli (FUNDAC)	24/01/2017 16:40

Fonte: CEMADEN (2020)

Figura 4 - Distribuição espacial das Estações Pluviométricas do CEMADEN no município de Salvador



Fonte: autoria própria, a partir de dados do INPE (2011).

Figura 5 - Tipos de Falha encontrados no tratamento de dados do CEMADEN

a) Estação de Águas Claras						b) Estação do CAB					
A	B	C	D	E		3	datahora	Ano	Mês	valor	
3	datahora	Ano	Mês	valor		73773	25/11/2019 03:10	2019	11	0	
51442	23/08/2018 13:00	2018	8	0		73774	25/11/2019 04:10	2019	11	0	
51443	23/08/2018 14:00	2018	8	0		73775	25/11/2019 05:10	2019	11	0	
51444	23/08/2018 15:00	2018	8	0		73776	25/11/2019 06:10	2019	11	0	
51445	23/08/2018 16:00	2018	8	0		73777	25/11/2019 07:10	2019	11	0	
51446	23/08/2018 17:00	2018	8	0		73778	25/11/2019 08:10	2019	11	0	
51447	23/08/2018 18:00	2018	8	0		73779	25/11/2019 09:10	2019	11	0	
51448	23/08/2018 19:00	2018	8	0		73780	25/11/2019 10:10	2019	11	0	
51449	23/08/2018 20:00	2018	8	0		73781	25/11/2019 11:10	2019	11	0	
51450	26/04/2019 20:40	2019	4	0,2		73782	25/11/2019 12:10	2019	11	NA	
51451	26/04/2019 21:00	2019	4	0		73783	25/11/2019 13:10	2019	11	NA	
51452	26/04/2019 22:00	2019	4	0		73784	25/11/2019 14:10	2019	11	NA	
51453	26/04/2019 23:00	2019	4	0		73785	25/11/2019 14:20	2019	11	NA	

Fonte: autoria própria.

Onde: x = valores de intensidade pluviométrica (mm/h); \bar{x} = Média dos dados de intensidade pluviométrica (x); α e μ = parâmetros de ajuste da curva Gumbel; e s = desvio padrão dos dados de intensidade pluviométrica

A verificação do ajuste da curva Gumbel para a curva de frequência observada dos dados foi realizada com parâmetro o R^2 (coeficiente de determinação). Vale ressaltar que a distribuição de Gumbel é um caso particular da distribuição generalizada de valores extremos (Tucci, 2014),

sendo possível de se adotar a metodologia de séries parciais (Naguettini; Pinto, 2006).

3.4 A Metodologia de Séries Parciais ajustada à Curva de Gumbel

Conforme apresentado na seção de Fundamentação Teórica, é crucial definir os valores de u e v para aplicar a metodologia de séries parciais. Neste trabalho, o valor de u (limite de excedência) foi estabelecido preferencialmente

com o percentil 80 da curva de frequência observada dos dados monitorados pelas estações. Modificações no percentil foram realizadas para garantir que o valor de v (número médio de excedências por ano) ficasse dentro do intervalo considerado, entre 1,5 e 2,5, atingindo o valor de 1,63 (Maidment, 1993).

É necessário modificar a equação de Gumbel para aplicar a metodologia de séries parciais. Maiores detalhes sobre essa modificação matemática podem ser encontrados no Anexo 9 de Naguettini e Pinto (2006). Maidment (1993) apresentou a aplicação das séries parciais no modelo probabilístico exponencial, enquanto Naguettini e Pinto (2006) demonstraram a aplicação dessa metodologia no modelo Generalizado de Valores Extremos (GEV). Neste último trabalho detalha-se como adaptar a equação de Gumbel para a metodologia de séries parciais, o que é descrito a seguir.

$$x = \mu + \left(-\frac{1}{\alpha}\right) * \ln \left\{ -\ln \left[1 + \left(\frac{1}{v}\right) * \ln[F_a(x)] \right] \right\} \quad \text{Eq. 6}$$

Desse modo, o valor de x [mm/h] é a intensidade da precipitação de determinada duração e probabilidade de excedência. O fator $F_a(x)$ tem a forma da Equação 7 (Naguettini; Pinto, 2006).

$$F_a(x) = 1 - \left(\frac{1}{TR(\text{anos})}\right) \quad \text{Eq. 7}$$

3.5 Obtenção das Curvas IDF

As curvas IDF foram construídas com os dados obtidos com o uso da Equação 6, fazendo referência às chuvas com durações de 10 min, 30 min, 1 h, 6 h e 24 h, para os tempos de retorno já mencionados (5, 10, 25, 50 e 100 anos). Tais curvas foram definidas para cada uma das estações e se buscou verificar semelhanças no seu comportamento, como forma e amplitude da intensidade.

3.6 Espacialização dos Dados

Após a obtenção dos dados de chuvas intensas para os diferentes tempos de retorno, foi utilizada a ferramenta Quantum GIS para especializar essas informações. A interpolação foi realizada com a ferramenta Inverse Distance Weight (IDW), que pondera os dados pelo inverso da distância, conforme adotado em outros estudos,

$$H_u(x) = 1 + \left(\frac{1}{v}\right) * \ln[F_a(x)]$$

Eq. 5 (Naguettini; Pinto, 2006)

Onde: $H_u(x)$ = representa a distribuição de probabilidades da série de duração parcial com eventos que superam um valor limiar a u ; v = número médio de excedências por ano; e $F_a(x)$ = distribuição de probabilidades de um evento segundo uma duração anual.

A equação 5 deve ser igualada com a função acumulada de probabilidade a ser utilizada no trabalho, a distribuição de Gumbel (Equação 2), resultando na sua transformação para ser utilizada com as séries parciais e para a obtenção dos valores intensos dado um tempo de retorno específico (Equação 6).

como o de Oliveira *et al.* (2017). Para a construção dos mapas, foram utilizados dados geoespaciais descritos no Quadro 1 e fornecidos pelo GEOBAHIA (SEIA, 2024).

Na construção dos mapas, buscou-se uma apresentação semelhante à das curvas IDF. Duas abordagens foram consideradas: a primeira envolvia o acompanhamento das intensidades pluviométricas para cada curva de tempo de retorno, variando as durações de chuva; a segunda analisava os valores de intensidade para durações específicas de chuva, considerando a variação pelo tempo de retorno. Optou-se pela segunda abordagem, uma vez que a primeira já é contemplada na construção das curvas IDF.

A análise espacial focou em identificar zonas onde a intensidade pluviométrica atingia os valores mais elevados, de acordo com as escalas de dados dos mapas. Essas zonas foram denominadas críticas, enquanto as demais foram consideradas não críticas.

A caracterização dessas zonas foi feita com base nos valores predominantes nos mapas, considerando os respectivos tempos de retorno e durações de chuva. Quando não havia variação brusca nos valores com o aumento do tempo de retorno, foi calculada uma média entre os valores medidos nos mapas com variações significativas.

Quadro 1 - Relação dos dados Espaciais utilizados no projeto

Nome do <i>Shapefile</i>	Data da Criação	Órgão Criador
RPGA do Recôncavo Norte	2012	INEMA
Limite Administrativo de Salvador	2015	SEI

Fonte: elaboração própria.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção, são caracterizados os dados das estações do CEMADEN, com informações relevantes sobre seu monitoramento e distribuição no município. Em seguida, são apresentados os resultados do ajuste da equação de Gumbel aos dados das estações, incluindo os parâmetros da metodologia de séries parciais. A análise das curvas IDF ocorre a seguir, destacando a magnitude das intensidades pluviométricas nas estações consideradas. Por fim, são exibidos os mapas de intensidade pluviométrica e a verificação dos bairros sujeitos aos maiores valores.

4.1 Caracterização das Estações do CEMADEN

Inicialmente, foi analisado o tempo de monitoramento das estações, considerando as diferentes durações das séries amostrais. Para isso, foi utilizado um indicador chamado Anos Monitorados, que representa a quantidade de dias monitorados pela estação dividida pelo número de dias do ano.

Essa informação está apresentada na Tabela 2, junto à classe altimétrica em que a estação está inserida. A Figura 6 mostra a distribuição das estações conforme a classificação altimétrica de Salvador. Observa-se que a altimetria de Salvador não alcança a ordem de grandeza mencionada por Tucci (2014), de um quilômetro, onde se espera que os gradientes adiabáticos de temperatura influenciem orograficamente a formação das chuvas.

A maioria das estações (35%) está localizada em zonas mais elevadas de Salvador (altitude próxima a 100 m). A distribuição nas outras classes de altimetria segue: 20% em aproximadamente 65 m; 25% em cerca de 35 m; e 20% em torno de 5 m de elevação. É importante destacar que as estações do CEMADEN estão bem distribuídas pela área e relevo de Salvador.

4.2 O Ajuste da curva probabilística de Gumbel

De modo geral, essa distribuição de probabilidade ajustou-se eficientemente à maioria das séries, considerando o desempenho do parâmetro R^2 . Apenas 20 dos 100 ajustes ficaram abaixo de 0,9. A Tabela 3 apresenta esses valores, bem como o número médio de excedências por ano e o quartil/decil adotado para determinar o valor de u .

Inicialmente, seguiu-se a recomendação da literatura, utilizando o percentil 80 da curva de frequência dos dados pluviométricos para obter o valor de u . No entanto, em algumas análises, o limite encontrado não atendeu ao critério do intervalo definido para o valor de v . Por isso, foi necessário reduzir o percentil até alcançar uma concentração de eventos de chuva excedentes dentro do intervalo estabelecido para v (1,5 a 2,5). Para facilitar essa tarefa, foram considerados percentis de 75%, 60% e 50%. Apenas na estação de Fazenda Coutos, na análise de chuvas com duração de 24 horas, foi necessário adotar o percentil de 50%.

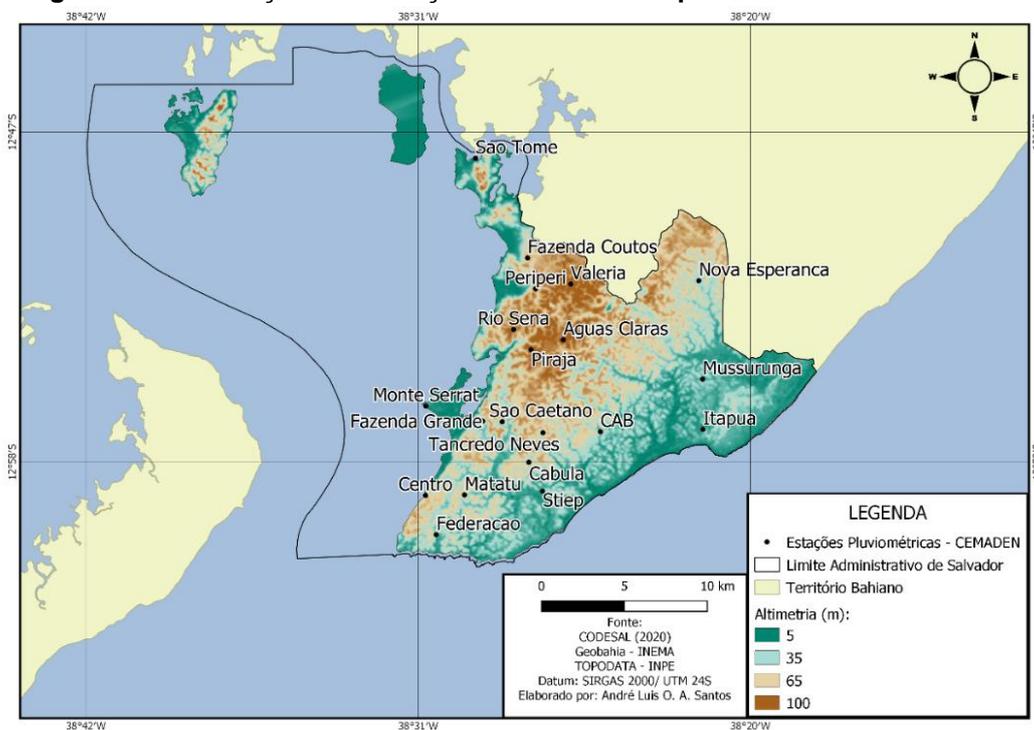
É importante destacar que a literatura oferece algumas recomendações para a seleção de eventos extremos. Naguettini e Pinto (2006) sugerem um intervalo de 6 horas sem precipitação para considerar eventos distintos. Contudo, Yevjevich (1984) alerta que, para chuvas com duração igual ou superior a 24 horas, há tendência de acúmulo e sobreposição de dados. Assim, neste trabalho, foram adotadas abordagens diferentes para a seleção de eventos extremos: para chuvas com duração entre 10 minutos e 6 horas, seguiu-se a recomendação de Naguettini e Pinto (2006); para durações de 24 horas, adotou-se um intervalo de 24 horas sem chuva, evitando a sobreposição de dados de dois eventos extremos no mesmo dia. Dessa forma, os percentis escolhidos para definir u garantiram uma quantidade adequada de eventos extremos excedentes e um valor de v dentro do intervalo desejado.

Tabela 2 - Apresentação do indicador Anos Monitorados e a Classificação Altimétrica das estações do CEMADEN

Nome da Estação	Anos	Classificação
Pirajá	6,2	≈ 100
Centro	6,6	≈ 65
Federação	6,0	≈ 100
Monte Serrat	6,5	≈ 5
Rio Sena	6,2	≈ 100
São Tomé	5,9	≈ 5
Águas Claras	5,4	≈ 100
Cabula	6,2	≈ 35
CAB	6,7	≈ 35
Fazenda Grande	6,7	≈ 35
São Caetano	6,2	≈ 100
Stiep	5,7	≈ 5
Matatu	6,3	≈ 65
Valéria	6,0	≈ 100
Nova Esperança	6,2	≈ 35
Itapuã	3,5	≈ 5
Periperi	3,3	≈ 65
Mussurunga	3,4	≈ 35
Fazenda Coutos	3,3	≈ 65
Tancredo Neves	3,3	≈ 100

Fonte: elaboração própria.

Figura 6 - Distribuição das Estações do CEMADEN pela Altimetria de Salvador



Fonte: autoria própria, com os dados do INPE (2011).

Tabela 3 - Coeficiente de determinação (R^2), número médio de excedências por ano (v), percentil adotado e valor de u por estação e duração (Destaques em cor vermelha: $R^2 < 0,9$)

Estação	R^2	v	Percentil	u [mm]	Duração Analisada	Estação	R^2	v	Percentil	u [mm]	Duração Analisada
Águas Claras	0,991	1,86	80	9	10 min	Mussurunga	0,948	2	80	13	10 min
	0,982	2,29	80	17	30 min		0,939	2,25	80	24	30 min
	0,9594	2	80	25	1 h		0,921	2,25	80	32	1 h
	0,957	1,71	80	59	6 h		0,963	2	80	75	6 h
	0,897	1,71	75	91	24 h		0,981	1,5	80	107	24 h
CAB	0,934	2,14	80	12	10 min	Nova Esperança	0,867	2,14	80	10	10 min
	0,898	2,29	80	22	30 min		0,973	2,43	80	19	30 min
	0,966	2,29	80	31	1 h		0,967	2,43	80	27	1 h
	0,979	1,57	80	69	6 h		0,911	2,14	75	49	6 h
	0,964	1,57	75	105	24 h		0,916	2	75	75	24 h
Cabula	0,986	2,29	80	10	10 min	Periperi	0,966	2,25	80	11	10 min
	0,943	2,29	80	21	30 min		0,872	2,25	80	24	30 min
	0,967	1,86	80	30	1 h		0,943	2,5	80	35	1 h
	0,837	1,71	75	58	6 h		0,956	1,75	75	67	6 h
	0,905	2	75	87	24 h		0,918	1,75	75	101	24 h
Centro	0,9184	2,43	80	11	10 min	Pirajá	0,988	2	80	10	10 min
	0,949	2,43	80	22	30 min		0,951	2	80	19	30 min
	0,964	2,43	80	32	1 h		0,985	1,71	80	29	1 h
	0,746	2	80	72	6 h		0,984	1,71	80	64	6 h
	0,810	1,57	80	100	24 h		0,976	2,43	60	70	24 h
Fazenda Coutos	0,967	2	80	11	10 min	Rio Sena	0,984	2,14	80	11	10 min
	0,946	2,4	80	20	30 min		0,987	2,29	80	20	30 min
	0,925	2,4	80	29	1 h		0,956	2,29	80	32	1 h
	0,898	1,6	75	59	6 h		0,731	1,86	80	66	6 h
	0,925	2,2	50	57	24 h		0,933	2,29	60	75	24 h
Fazenda Grande	0,923	2	80	11	10 min	São Caetano	0,942	2	80	9	10 min
	0,955	2,29	80	21	30 min		0,868	2	80	19	30 min
	0,913	2	80	33	1 h		0,962	1,71	80	28	1 h
	0,9449	1,57	75	66	6 h		0,898	1,57	75	61	6 h
	0,925	2,29	60	78	24 h		0,819	1,57	75	93	24 h
Federação	0,982	2	80	11	10 min	São Tome	0,897	2	60	6	10 min
	0,973	2,29	80	21	30 min		0,792	1,57	80	15	30 min
	0,949	2,29	80	32	1 h		0,825	1,71	80	20	1 h
	0,969	1,86	80	67	6 h		0,922	2	80	45	6 h
	0,898	2,14	80	87	24 h		0,909	1,86	80	66	24 h
Itapuã	0,927	2	80	12	10 min	Stiep	0,975	1,71	80	10	10 min
	0,952	2,25	80	23	30 min		0,924	2	80	19	30 min
	0,905	2	80	34	1 h		0,968	2	80	27	1 h
	0,947	1,75	80	68	6 h		0,925	1,57	80	65	6 h
	0,915	1,5	80	95	24 h		0,939	1,86	75	86	24 h
Matatu	0,964	2,29	80	10	10 min	Tancredo Neves	0,972	2,25	80	10	10 min
	0,981	2,29	80	21	30 min		0,832	2,5	80	23	30 min
	0,971	2,43	80	30	1 h		0,827	2,25	80	31	1 h
	0,968	1,71	80	70	6 h		0,959	1,75	75	61	6 h
	0,909	2	80	96	24 h		0,914	2,25	60	73	24 h
Monte Serrat	0,862	1,86	80	8	10 min	Valeria	0,981	2,29	80	11	10 min
	0,785	1,86	80	15	30 min		0,929	2,43	80	21	30 min
	0,915	1,57	80	22	1 h		0,954	2,29	80	29	1 h
	0,965	2,29	60	41	6 h		0,971	1,71	80	60	6 h
	0,943	2,14	60	54	24 h		0,951	2	75	86	24 h

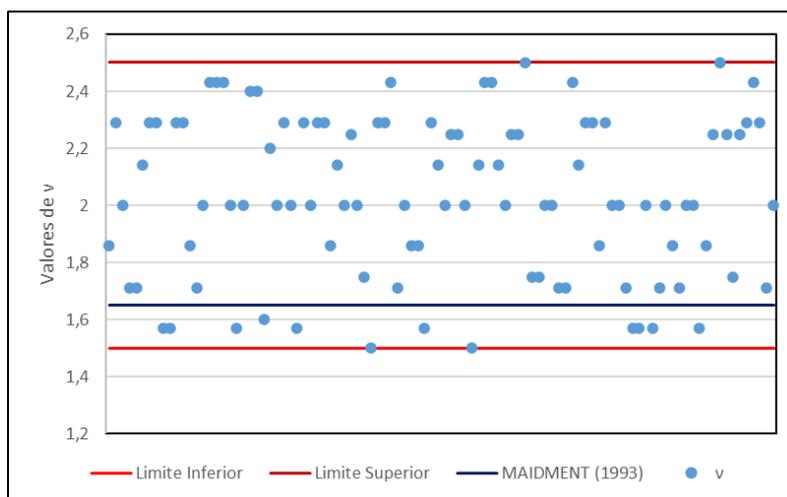
Fonte: autoria própria.

Em relação aos valores de v , a Figura 7 apresenta a distribuição dos seus valores e os limites adotados nesta pesquisa, incluindo o valor de referência de Maidment (1993), já que tal valor (1,65) é o mais recomendado pela literatura consultada.

Na Figura 7 é possível perceber que a maior parte dos valores de v se encontra acima dos

valores de referência de Maidment (1993). Foi necessário elevar o valor deste parâmetro, visto que o tempo de monitoramento das estações é curto ocasionando um número pequeno de eventos extremos para ajuste da curva Gumbel, assim buscando-se melhorar a qualidade do ajuste.

Figura 7 - Distribuição dos valores de v e dos limites estabelecidos.



Fonte: autoria própria.

4.3 Apresentação das Curvas IDF

As curvas IDF foram criadas para cada uma das estações e elas são apresentadas em ordem alfabética na Figura 8, para posterior análise.

Observa-se que o comportamento das curvas varia significativamente entre as estações, com intensidades pluviométricas entre 4,0 e 233,2 mm/h. O maior valor foi registrado na estação Mussurunga, com TR de 100 anos e duração de 10 minutos, enquanto o menor foi na estação São Tomé, com TR de 5 anos e duração de 24 horas. Há tendências específicas no comportamento das curvas, que se agrupam em três faixas de variação: a) 0 – 160 mm/h, b) 0 – 200 mm/h, e c) 0 – 240 mm/h. Para cada faixa, foram elaboradas tabelas (Tabelas 4, 5 e 6) para analisar a influência dos anos monitorados e da classe altimétrica.

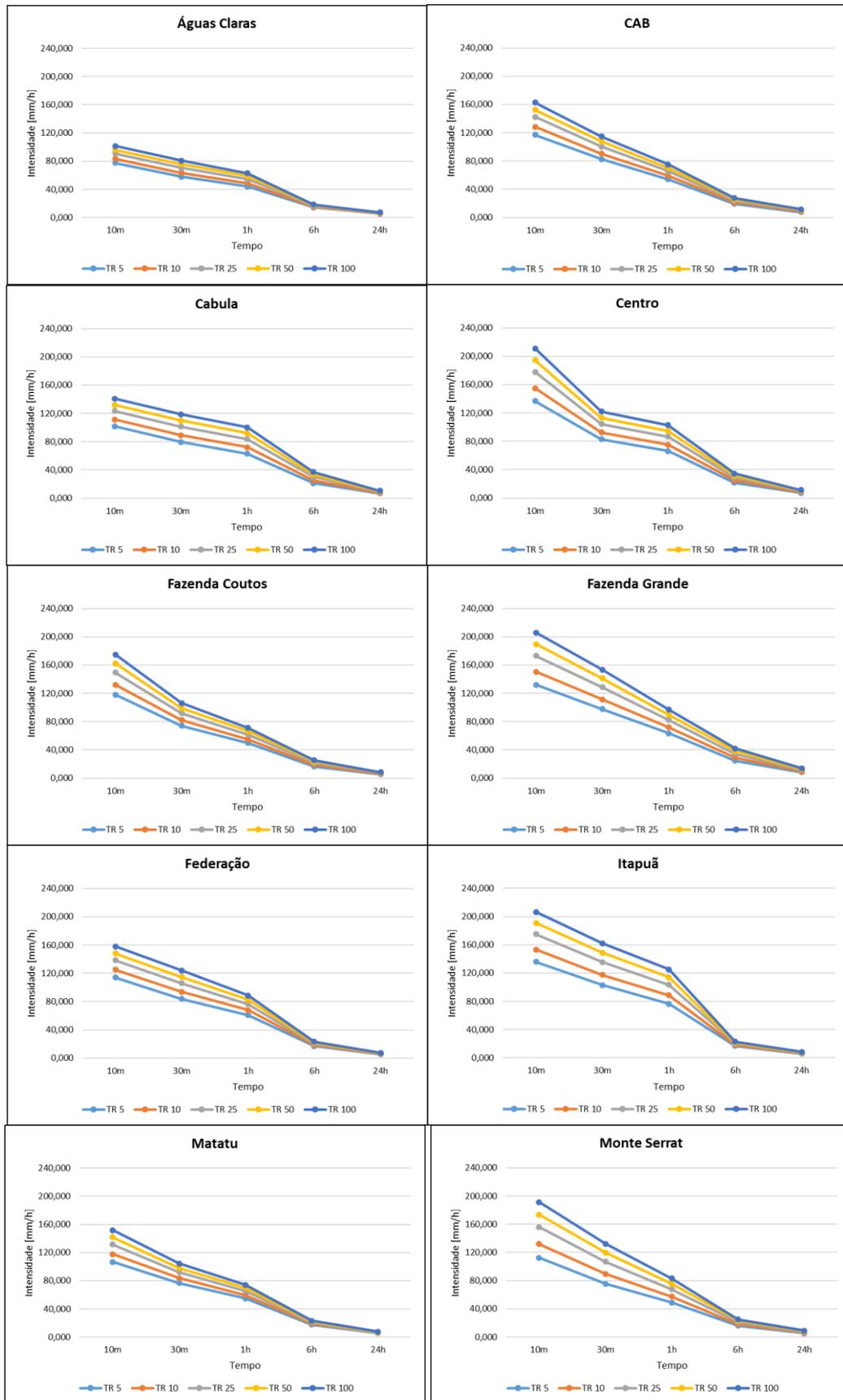
A análise indica que não há uma correlação clara entre o comportamento das curvas IDF e as classes altimétricas, pois em todas as amplitudes de intensidade observadas, quase todas as classes de altimetria estão presentes. Isso é esperado, considerando-se que apenas altimetrias na ordem de quilômetros tendem a influenciar significativamente as chuvas orogênicas, segundo

a literatura. Já o parâmetro "anos monitorados" mostra uma relação mais direta: à medida que a amplitude de intensidade pluviométrica aumenta, há uma maior proporção de estações com menos de 5 anos de monitoramento.

Na Tabela 4, apenas 11% das estações têm menos de 5 anos de monitoramento, enquanto na Tabela 5 essa proporção sobe para 29% e na Tabela 6, para 50%. Esse comportamento pode refletir uma limitação da metodologia de séries parciais para períodos de monitoramento curtos, resultando em valores mais elevados quando comparados à metodologia de séries anuais. Embora a literatura não defina um número mínimo de anos monitorados para aplicar a metodologia de séries parciais, reconhece-se que ajustes de curva em períodos curtos tendem a ser menos confiáveis (Tucci, 2014).

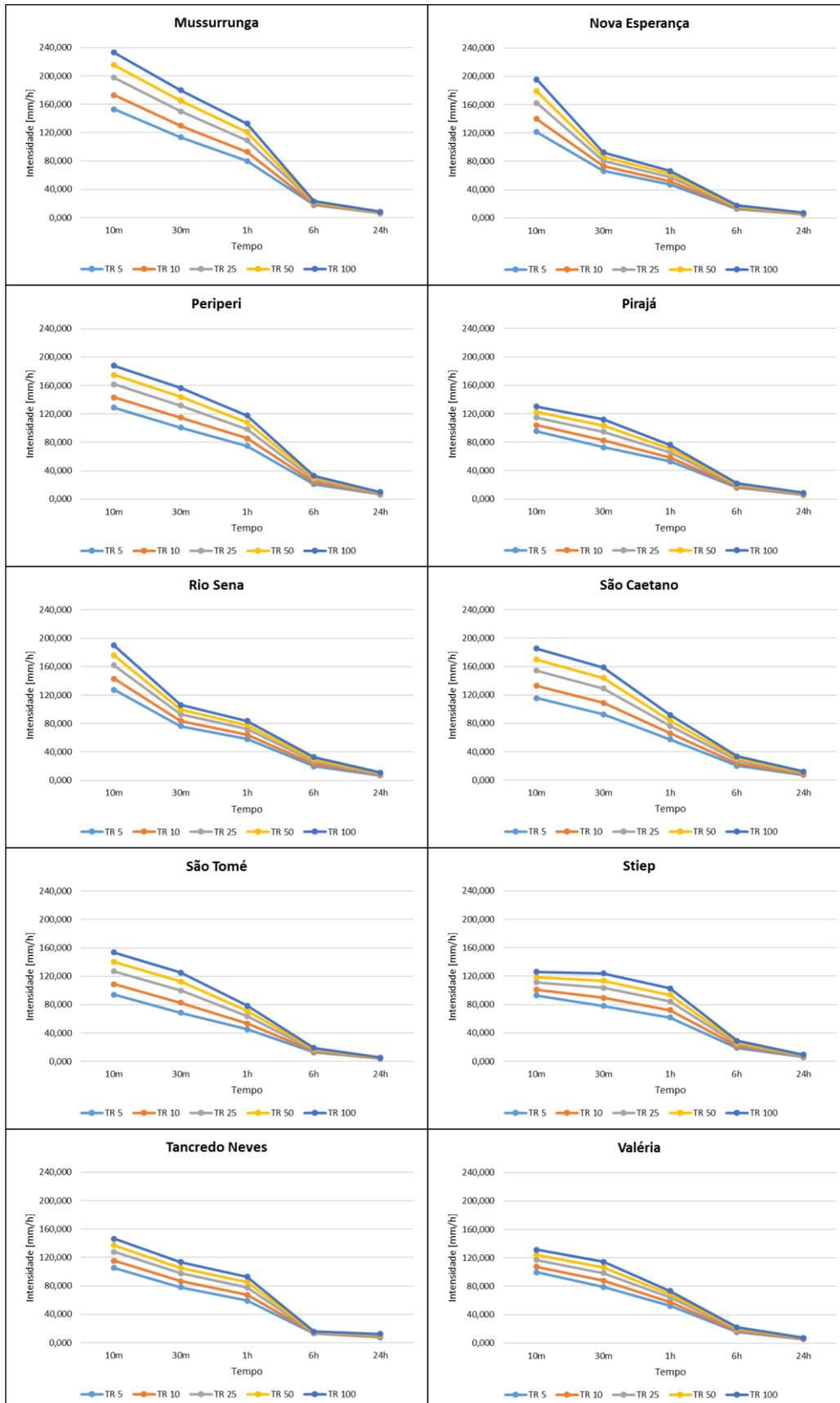
Por fim, é importante notar que as quatro estações com amplitudes de intensidade de 0 – 240 mm/h só se enquadram nessa faixa devido aos tempos de recorrência de 100 anos. Apenas a estação de Mussurunga apresenta duas curvas acima de 200 mm/h, referentes às recorrências de 50 e 100 anos.

Figura 8 - Curvas IDF referentes às Estações CEMADEN



(continua)

Figura 8 - Curvas IDF referentes às Estações CEMADEN (continuação)



Fonte: autoria própria.

Tabela 4 - Estações do CEMADEN com Intensidade Pluviométrica variável entre 0 – 160 mm/h, seu indicador de anos monitorados e sua classificação altimétrica

Nome da Estação	Anos Monitorados	Classificação Altimétrica
Águas Claras	6,6	≈ 100
Cabula	6,8	≈ 35
Federação	6,5	≈ 100
Matatu	6,6	≈ 65
Pirajá	6,7	≈ 100
São Tomé	6,6	≈ 2
Stiep	6,6	≈ 2
Tancredo Neves	3,7	≈ 100
Valéria	6,8	≈ 100

Fonte: autoria própria.

Tabela 5 - Estações do CEMADEN com Intensidade Pluviométrica variável entre 0 – 200 mm/h, seu indicador de anos monitorados e sua classificação altimétrica

Nome da Estação	Anos Monitorados	Classificação Altimétrica
CAB	6,7	≈ 35
Fazenda Coutos	3,9	≈ 65
Monte Serrat	6,6	≈ 2
Nova Esperança	6,7	≈ 35
Periperi	3,9	≈ 65
Rio Sena	6,7	≈ 100
São Caetano	6,6	≈ 100

Fonte: autoria própria.

Tabela 6 - Estações do CEMADEN com Intensidade Pluviométrica variável entre 0 – 240 mm/h, seu indicador de anos monitorados e sua classificação altimétrica

Nome da Estação	Anos Monitorados	Classificação Altimétrica
Centro	6,8	≈ 65
Fazenda Grande	6,7	≈ 35
Itapuã	3,9	≈ 2
Mussurunga	3,8	≈ 35

Fonte: Autoria própria.

4.4 Mapas de Intensidade Pluviométrica

Os mapas de intensidade pluviométrica foram construídos com o auxílio do *software* QGIS 3.10 e se utilizou da ferramenta de interpolação IDW (*Inverse Distance Weight*) para os dados de intensidade pluviométrica das estações. Os dados

interpolados produzem novos valores que se distribuem sobre a área municipal.

- a) Análise das chuvas intensas de 10 min de duração

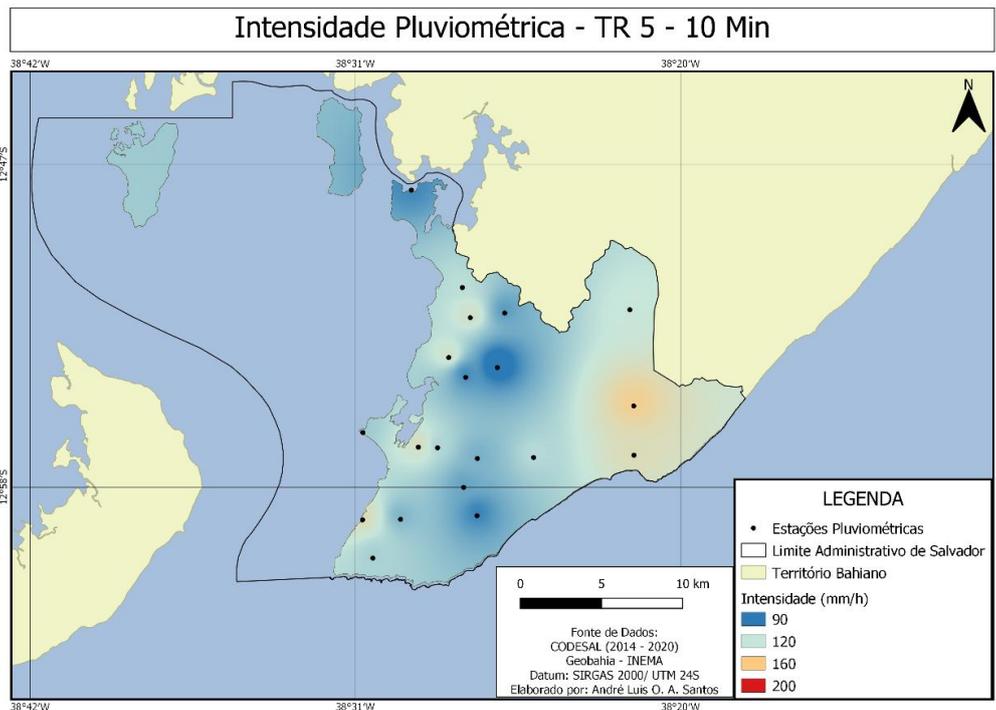
Os valores de intensidade pluviométrica para chuvas de menores durações são os mais elevados, variando entre 95,64 e 211,8 mm/h. A

Figura 9 mostra a distribuição dos valores para o TR de 5 anos, destacando a estação Mussurunga como uma zona de alta intensidade. No entanto, grande parte do município apresenta intensidades pluviométricas mais baixas, entre 90 e 120 mm/h.

Ao analisar a distribuição para o TR de 10 anos (Figura 10), observa-se uma maior variação

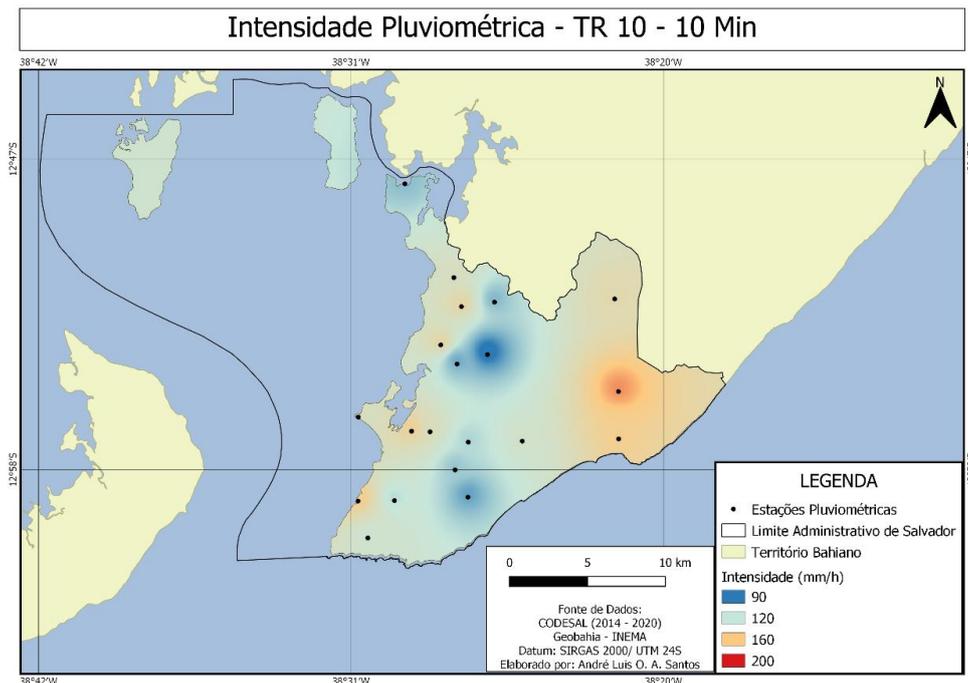
espacial dos valores de intensidade. Algumas áreas apresentam intensidades mais altas devido à interpolação dos dados, enquanto outras mantêm intensidades mais baixas. Em geral, a intensidade pluviométrica no município tende a aumentar gradualmente, alcançando até 160 mm/h.

Figura 9 - Mapa de Intensidade Pluviométrica para chuvas de 10 min e TR 5 anos



Fonte: autoria própria, a partir de dados do INPE (2011).

Figura 10 - Mapa de Intensidade Pluviométrica para chuvas de 10 min e TR 10 anos.



Fonte: autoria própria, a partir de dados do INPE (2011).

Na Figura 11, que analisa o TR de 25 anos, surgem novas zonas de alta intensidade, como nas áreas próximas às estações de São Caetano e Centro. A estação Mussurunga se destaca com uma zona consolidada de alta intensidade pluviométrica (200 mm/h), mostrando também convergência com dados das estações de Itapuã e Nova Esperança. Os valores mais baixos na estação de Águas Claras resultam em uma menor intensidade na região do Subúrbio Ferroviário.

Para os tempos de retorno de 50 e 100 anos, observa-se uma uniformização da intensidade em torno de 160 mm/h para a maior parte do município, com a consolidação das zonas mais críticas em torno de 200 mm/h, conforme mostrado nas Figuras 12 e 13. A zona mais destacada abrange os bairros próximos a Mussurunga, Nova Esperança e Itapuã, como já previsto na análise do TR de 5 anos. Além disso, há uma macro convergência entre as estações Centro, São Caetano, Fazenda Grande, Monte Serrat, Rio Sena e Periperi na análise do TR de 100 anos.

Os resultados desta análise são consistentes com o trabalho de Rocha (2013), que descreve grandes ocorrências de alagamentos nas zonas do Uruguai e Calçada. No entanto, a região do Imbuí, que foi o foco do estudo da autora devido a frequentes alagamentos, não apresenta os mesmos padrões na análise dos mapas. A região do Imbuí mostra valores médios de intensidade em torno de 160 mm/h. Assim, é importante considerar que os alagamentos podem estar relacionados a

estruturas de drenagem inadequadas e/ou ao relevo próximo ao nível do mar.

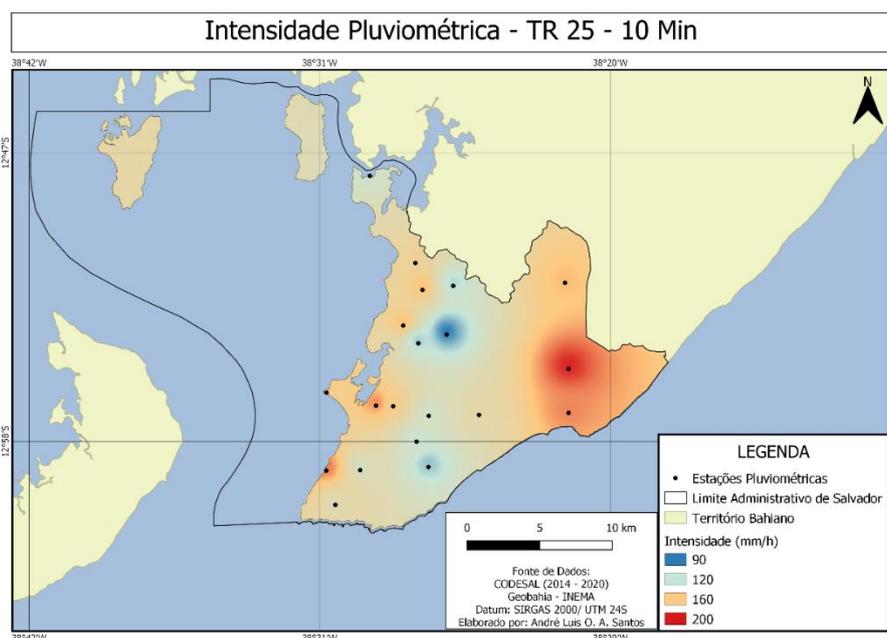
b) Análise das chuvas intensas de 30 min de duração

Os valores de intensidade pluviométrica para as chuvas de duração de 30 minutos são elevados, em comparação com as outras durações, variando entre 68,1 e 161,1 mm/h. Ao analisar as Figuras 14 e 15 é possível observar a distribuição das intensidades para baixos valores de tempo de retorno (5 e 10 anos), percebendo-se que há de forma homogênea na cidade valores baixos de intensidade, em torno de 60 a 90 mm/h. Mesmo assim, é possível identificar zonas mais críticas, sendo elas:

- O entorno da estação de Periperi;
- O entorno das estações de Fazenda Grande e São Caetano;
- O entorno das estações de Mussurunga e Itapuã.

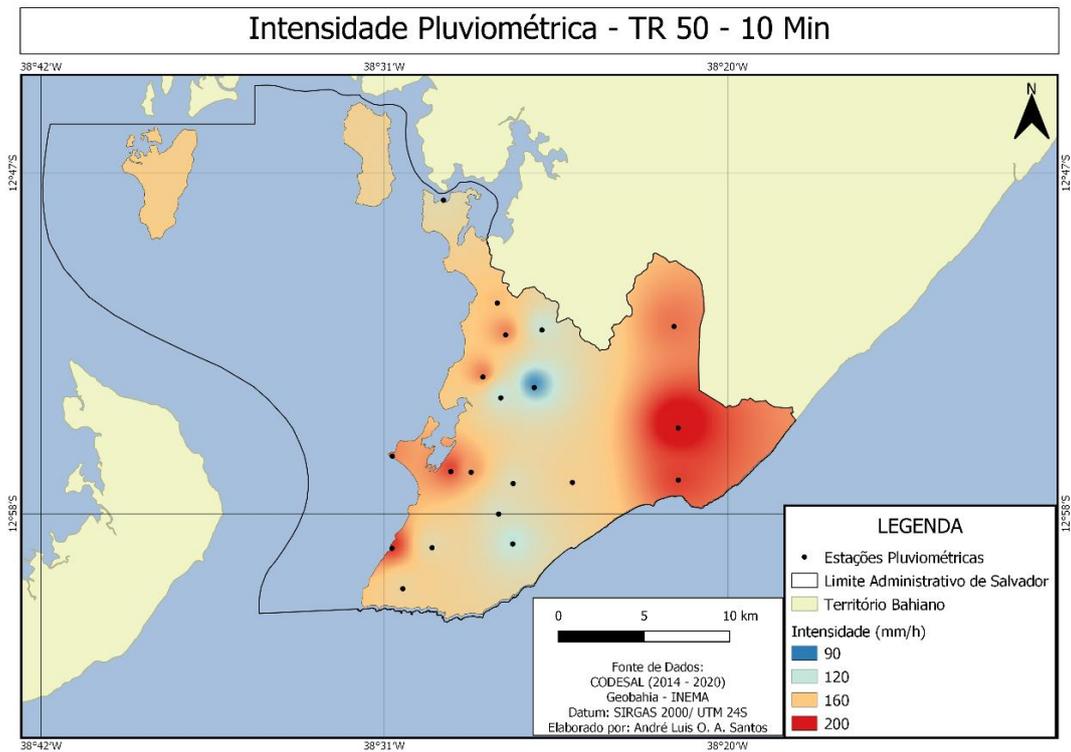
Esse comportamento espacial é similar ao verificado com chuvas de duração de 10 minutos. Ao analisar o TR 25 anos, ocorre uma consolidação destas áreas como zonas críticas, assim como, a definição das áreas próximas às estações de Águas Claras e Nova Esperança, como zonas de intensidade mais baixa, como apresentado na Figura 16. A intensidade no território municipal oscila entre 90 e 120 mm/h.

Figura 11 - Mapa de Intensidade Pluviométrica para chuvas de 10 min e TR 25 anos



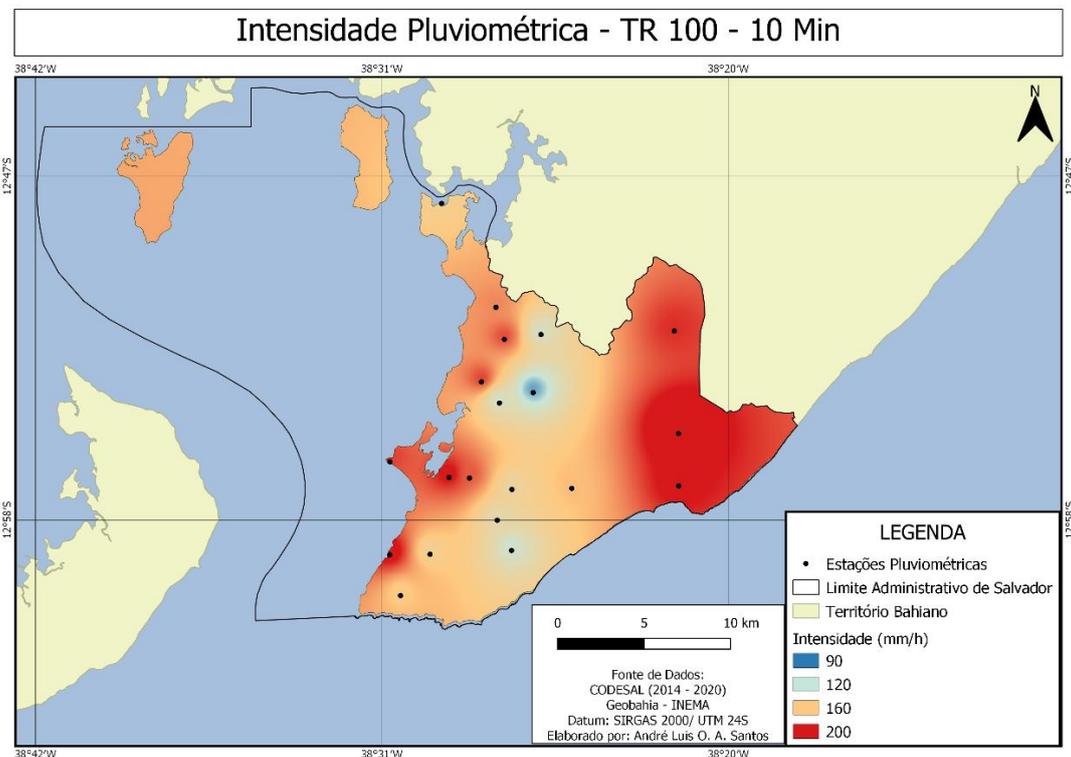
Fonte: autoria própria, a partir de dados do INPE (2011).

Figura 12 - Mapa de Intensidade Pluviométrica para chuvas de 10 min e TR 50 anos



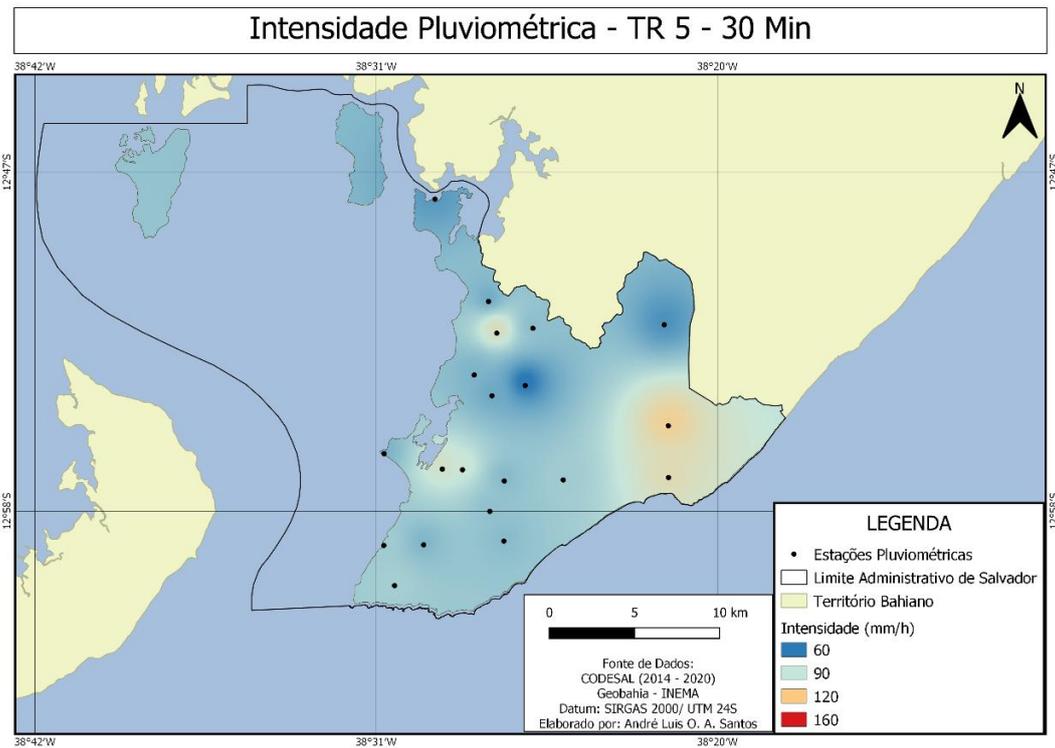
Fonte autoria própria, a partir de dados do INPE (2011).

Figura 13 - Mapa de Intensidade Pluviométrica para chuvas de 10 min e TR 100 anos



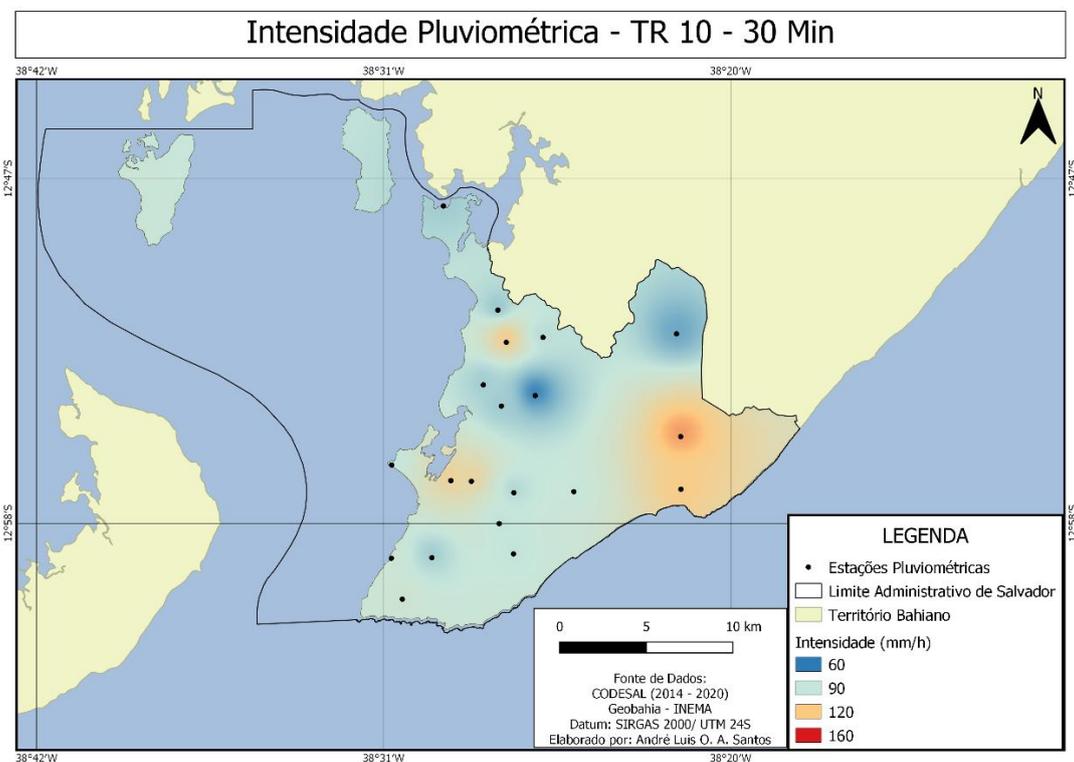
Fonte: autoria própria, a partir de dados do INPE (2011).

Figura 14 - Mapa de Intensidade Pluviométrica para chuvas de 30 min e TR 5 anos



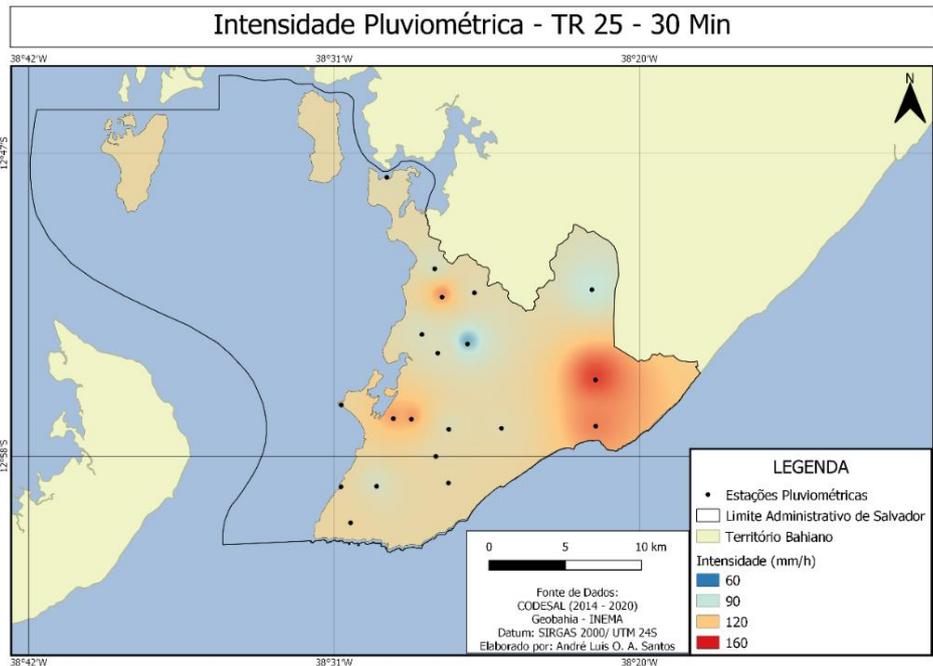
Fonte: autoria própria, a partir de dados do INPE (2011).

Figura 15 - Mapa de Intensidade Pluviométrica para chuvas de 30 min e TR 10 anos



Fonte: autoria própria, a partir de dados do INPE (2011).

Figura 16 - Mapa de Intensidade Pluviométrica para chuvas de 30 min e TR 25 anos

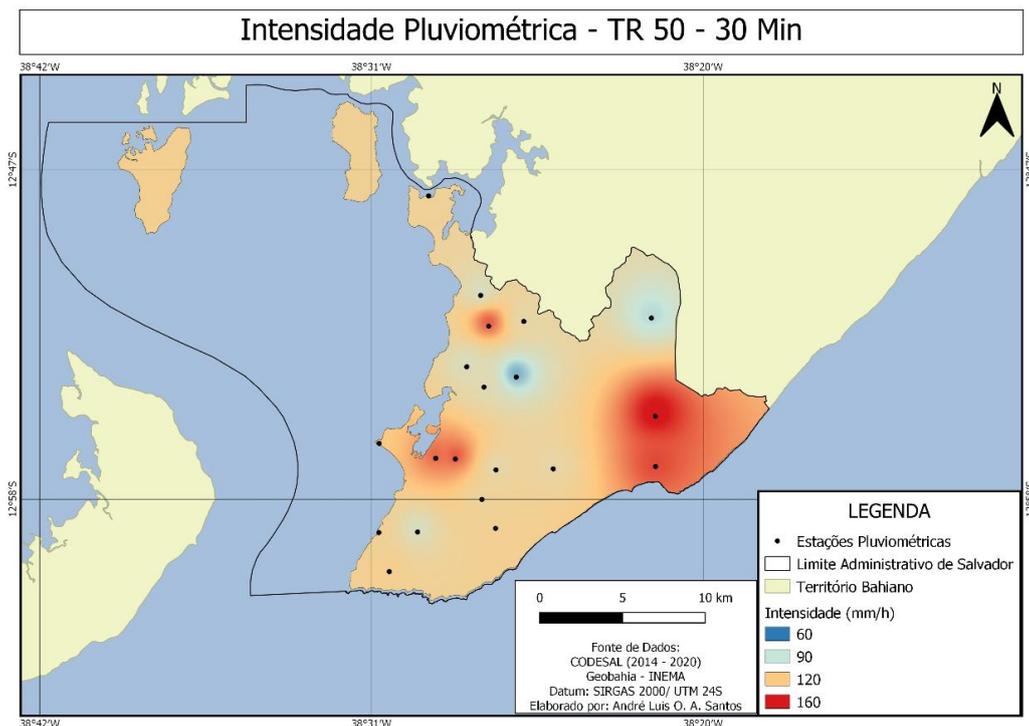


Fonte: autoria própria, a partir de dados do INPE (2011).

Para os tempos de recorrência maiores, 50 e 100 anos, observa-se uma intensificação das chuvas para valores de até 120 mm/h em quase todo o território, como mostrado nas Figuras 17 e 18. As zonas críticas, com intensidade de 160 mm/h, estão localizadas principalmente nos

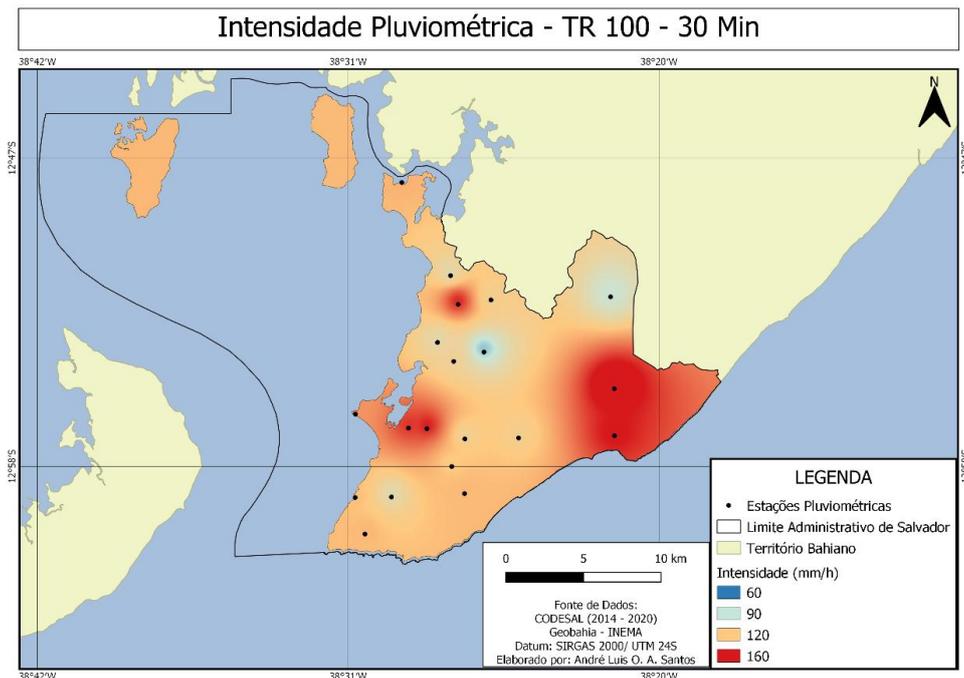
bairros próximos às estações de Periperi, Fazenda Grande, São Caetano, Monte Serrat, Mussurunga e Itapuã. As zonas de baixa intensidade (60 e 90 mm/h) são quase inexistentes, limitando-se às estações de Águas Claras e Nova Esperança.

Figura 17 - Mapa de Intensidade Pluviométrica para chuvas de 30 min e TR 50 anos



Fonte: autoria própria, a partir de dados do INPE (2011).

Figura 18 - Mapa de Intensidade Pluviométrica para chuvas de 30 min e TR 100 anos



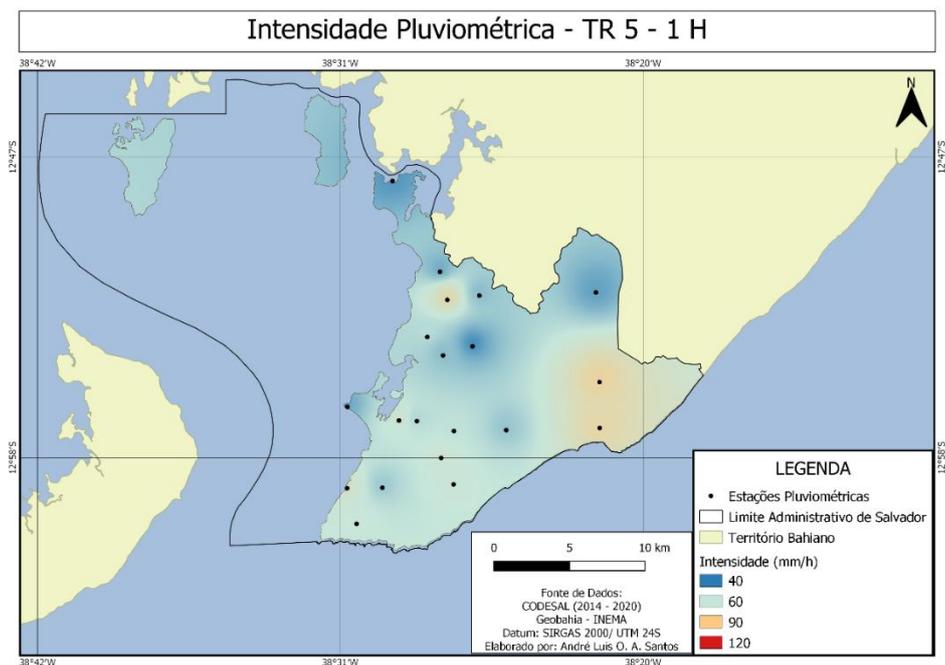
Fonte: autoria própria, a partir de dados do INPE (2011).

c) Análise das chuvas intensas de 1 h de duração

As chuvas intensas com duração de 1 hora em Salvador apresentam valores de intensidade pluviométrica variando de 47,6 a 122,6 mm/h. Essa escala é consistente com as análises anteriores, indicando uma tendência de redução da

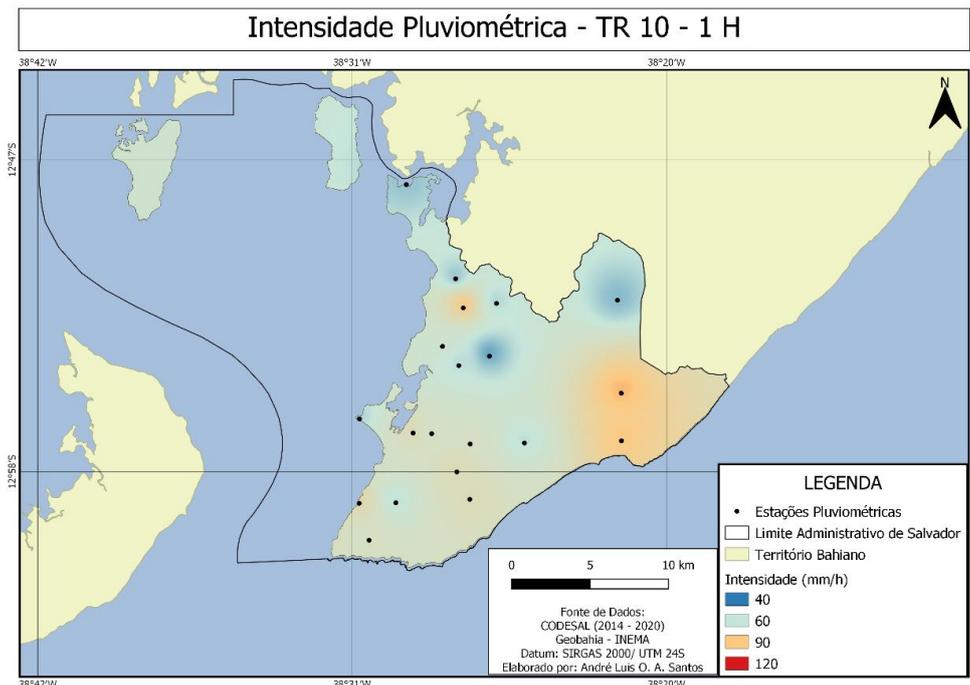
intensidade pluviométrica à medida que o tempo de chuva aumenta. Para os tempos de recorrência menores, como 5 e 10 anos (ver Figuras 19 e 20), a intensidade predominante é de 40 a 60 mm/h em grande parte do município. No entanto, há indícios de zonas críticas, com maior intensidade pluviométrica, nas áreas próximas às estações de Mussurunga, Itapuã e Periperi.

Figura 19 - Mapa de Intensidade Pluviométrica para chuvas de 1 h e TR 5 anos



Fonte: autoria própria, a partir de dados do INPE (2011).

Figura 20 - Mapa de Intensidade Pluviométrica para chuvas de 1 h e TR 10 anos

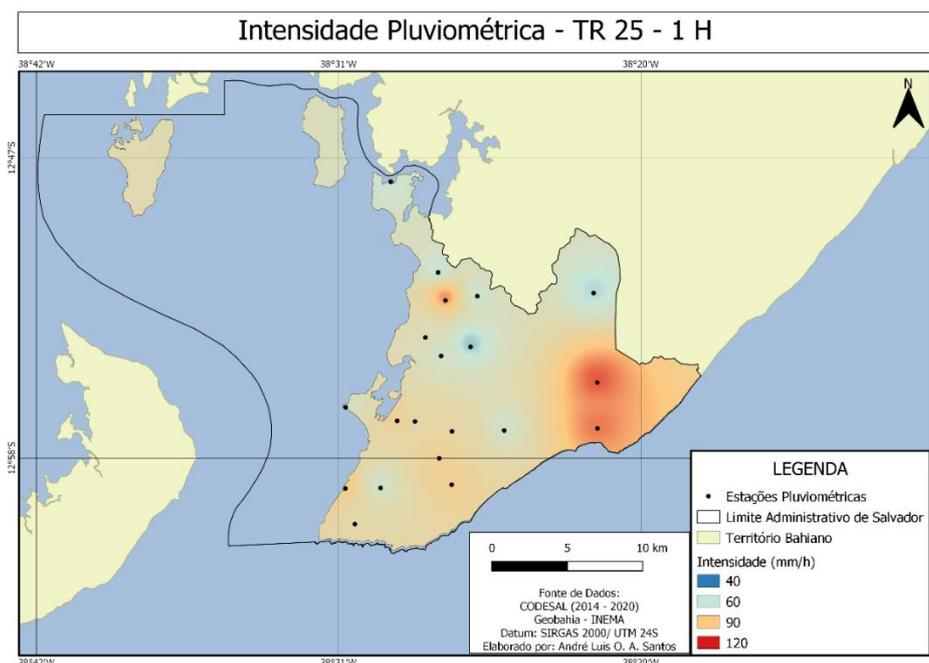


Fonte: autoria própria, a partir de dados do INPE (2011).

Na distribuição espacial apresentada na Figura 21, para o TR 25 anos, observa-se um aumento gradual na intensidade pluviométrica, alcançando até 90 mm/h em quase todo o município, com exceção de algumas zonas críticas e áreas de baixa pluviosidade. As zonas críticas são mais evidentes em torno das estações: a) Mussurunga e Itapuã, formando uma zona de

convergência, e b) Periperi. As zonas de baixa intensidade estão associadas às estações de Águas Claras, em convergência com Valéria, Nova Esperança, Fazenda Coutos e São Tomé. Essa convergência de baixa intensidade limita o aumento da intensidade pluviométrica em Periperi, tornando a região do subúrbio ferroviário predominantemente de baixa intensidade.

Figura 21 - Mapa de Intensidade Pluviométrica para chuvas de 1 h e TR 25 anos

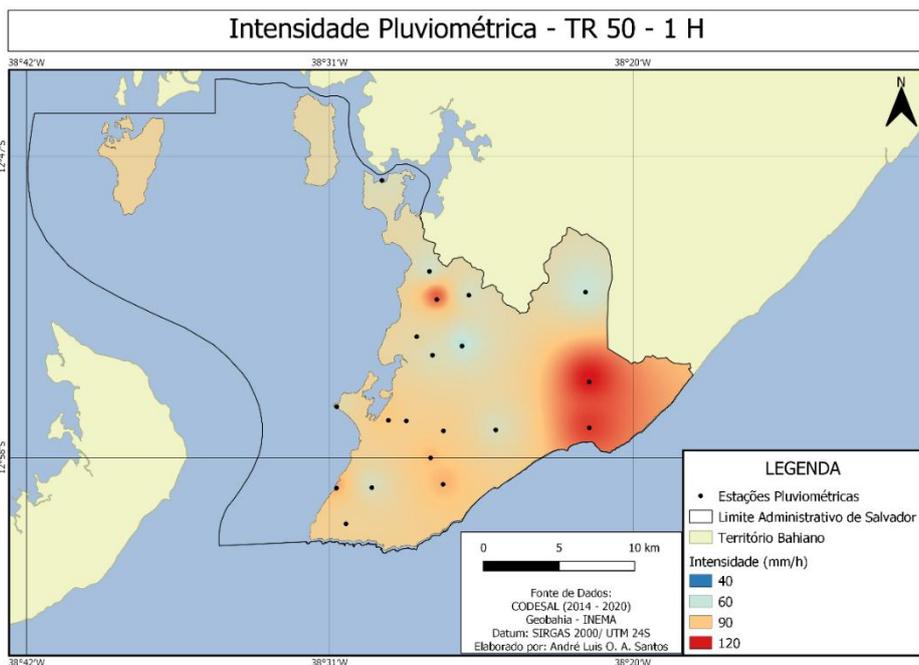


Fonte: autoria própria, a partir de dados do INPE (2011).

Na análise dos tempos de retorno mais elevados, apresentada nas Figuras 22 e 23, é evidente que a maior parte do município se mantém com uma intensidade pluviométrica de 90 mm/h, com poucas zonas críticas apresentando intensidades de 120 mm/h. A zona crítica mais destacada é a que engloba as estações de Mussurunga e Itapuã, uma tendência já observada

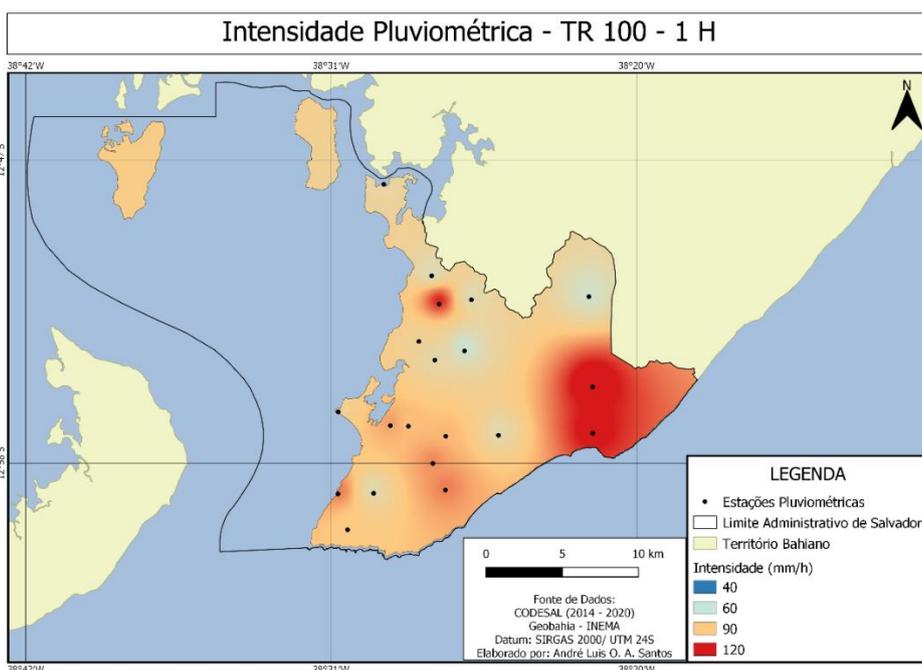
a partir do TR 10 anos. As áreas próximas à estação de Periperi também são caracterizadas como críticas; no entanto, devido à ausência de convergência dos dados dessa estação com os das suas vizinhas, é possível que seus valores sejam anômalos para a região, não se configurando efetivamente como uma zona crítica.

Figura 22 - Mapa de Intensidade Pluviométrica para chuvas de 1 h e TR 50 anos



Fonte: autoria própria, a partir de dados do INPE (2011).

Figura 23 - Mapa de Intensidade Pluviométrica para chuvas de 1 h e TR 100 anos



Fonte: autoria própria, a partir de dados do INPE (2011).

d) Análise das chuvas de 6 h de duração

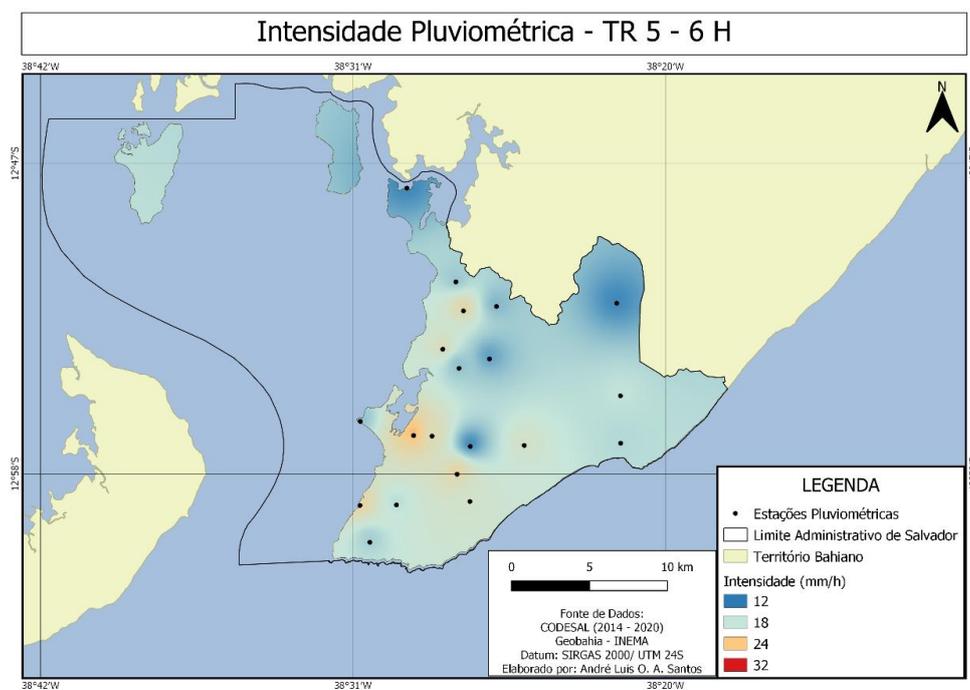
Os dados interpolados para chuvas com duração de 6 horas variam entre 13,5 e 35,1 mm/h. O decréscimo acentuado da intensidade pluviométrica entre 1 hora e 6 horas pode ser atribuído à falta de análises para durações de 2 e 3 horas, que normalmente são incluídas nas curvas IDF, mas não foram contempladas neste estudo. Ao analisar o comportamento do TR 5 e 10 anos, conforme mostrado nas Figuras 24 e 25, observa-se a predominância de baixas intensidades (12 mm/h) em grande parte do município. No entanto, para o TR 10 anos, fica evidente que a região ao redor da estação de São Caetano é caracterizada como uma zona crítica

devido ao aumento acentuado da intensidade comparado com outras áreas do município.

Na análise do TR 25 anos, apresentada na Figura 26, há um aumento considerável na intensidade pluviométrica no município, alcançando cerca de 24 mm/h. A zona crítica, anteriormente restrita à estação São Caetano, agora se expande para áreas mais amplas, incluindo:

- o entorno das estações de São Caetano, Fazenda Grande e Cabula, com uma convergência para valores de 32 mm/h;
- a região ao redor das estações de Rio Sena e Periperi, também com valores próximos a 32 mm/h.
- as proximidades da estação do Centro.

Figura 24 - Mapa de Intensidade Pluviométrica para chuvas de 6 h e TR 5 anos



Fonte: autoria própria, a partir de dados do INPE (2011).

É importante salientar que as regiões de Mussurunga e Itapuã não se configuram mais como zonas críticas para chuvas com duração de 6 horas. Isso sugere que essas áreas enfrentam chuvas intensas de curta duração, enquanto as zonas mais ao sul do município tendem a experimentar chuvas menos intensas, porém mais contínuas. Além disso, a Figura 26 revela a presença de zonas de baixa intensidade, novamente caracterizadas pelas estações de Águas Claras e Nova Esperança, bem como pelas estações de São Tomé e Tancredo Neves.

Ao avaliar o comportamento nos tempos de

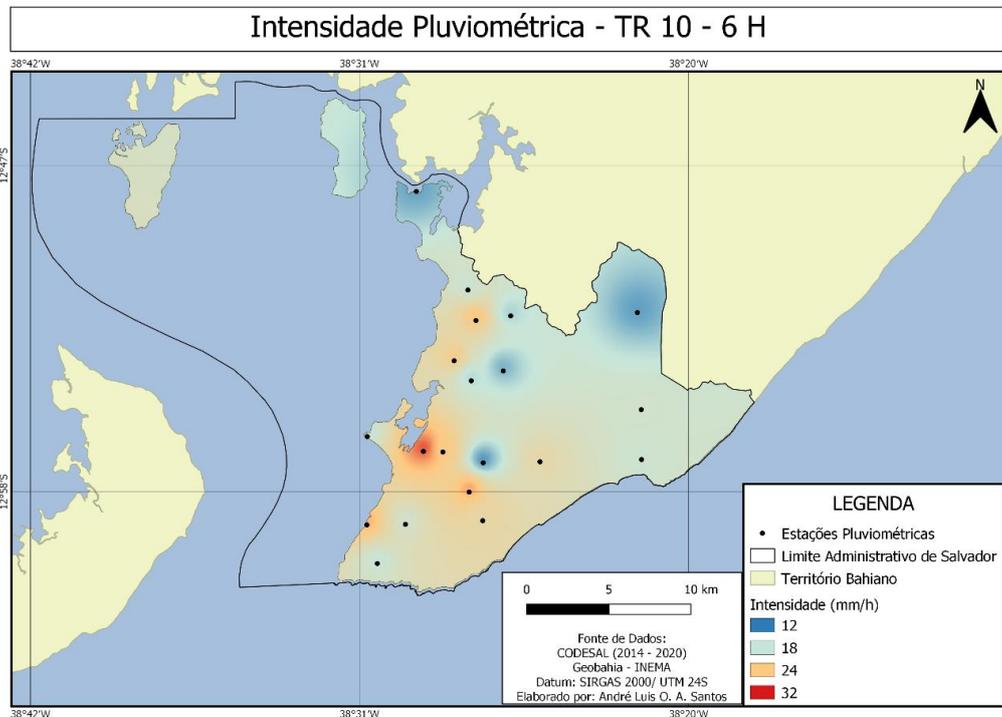
retorno mais elevados, apresentados nas Figuras 27 e 28, observa-se um agravamento da intensidade pluviométrica, com a maior parte do município caracterizada por chuvas de 32 mm/h. Também ocorre uma convergência das zonas críticas identificadas na Figura 26, indicando que a faixa litorânea voltada para a Baía de Todos os Santos enfrenta chuvas intensas de maior duração.

As zonas de baixa intensidade persistem, sendo caracterizadas pelas estações de Águas Claras, Nova Esperança, São Tomé e Tancredo Neves. No entanto, os valores mais baixos dessas

estações estão forçando a interpolação para intensidades mais baixas de forma espacial, sugerindo que esses valores possam ser outliers

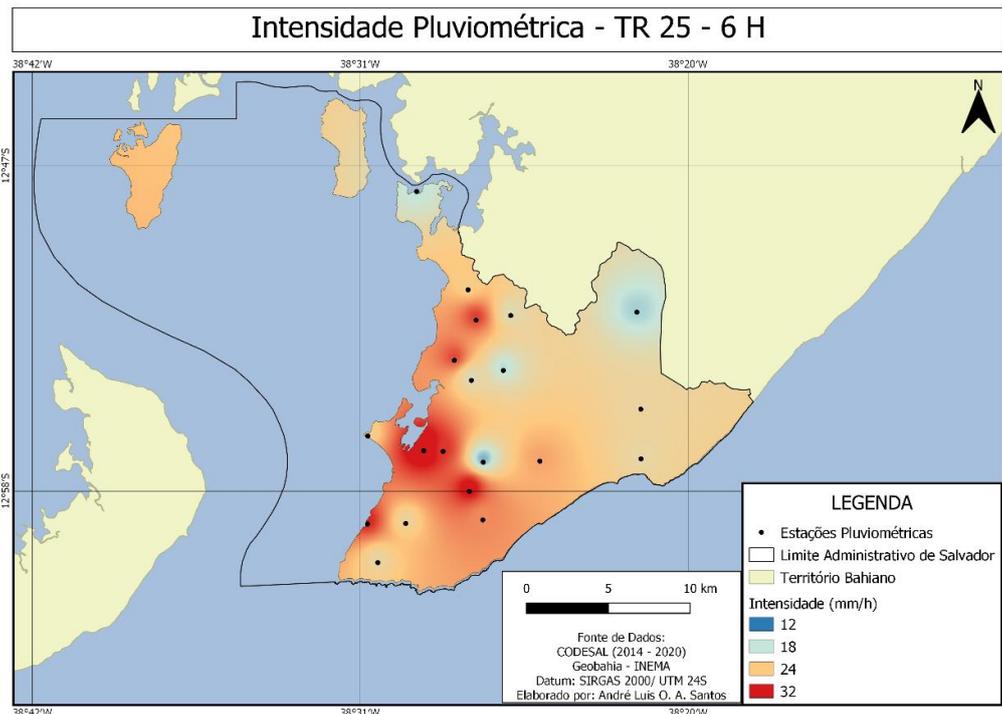
na análise espacial das chuvas intensas de 6 horas.

Figura 25 - Mapa de Intensidade Pluviométrica para chuvas de 6 h e TR 10 anos



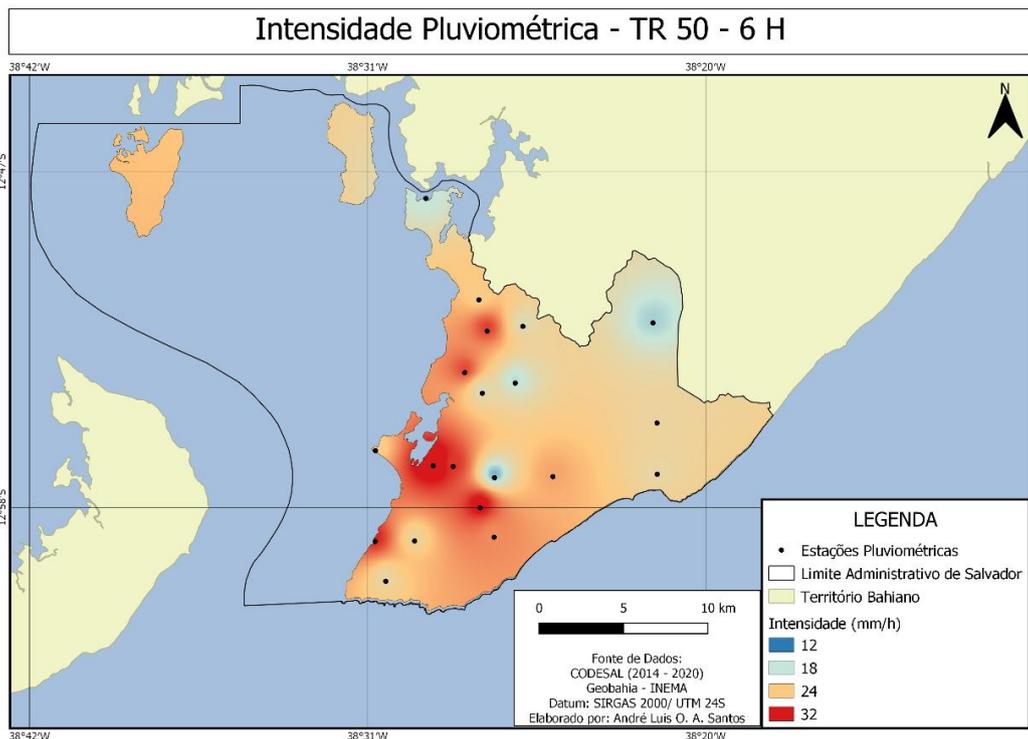
Fonte: autoria própria, a partir de dados do INPE (2011).

Figura 26 - Mapa de Intensidade Pluviométrica para chuvas de 6 h e TR 25 anos



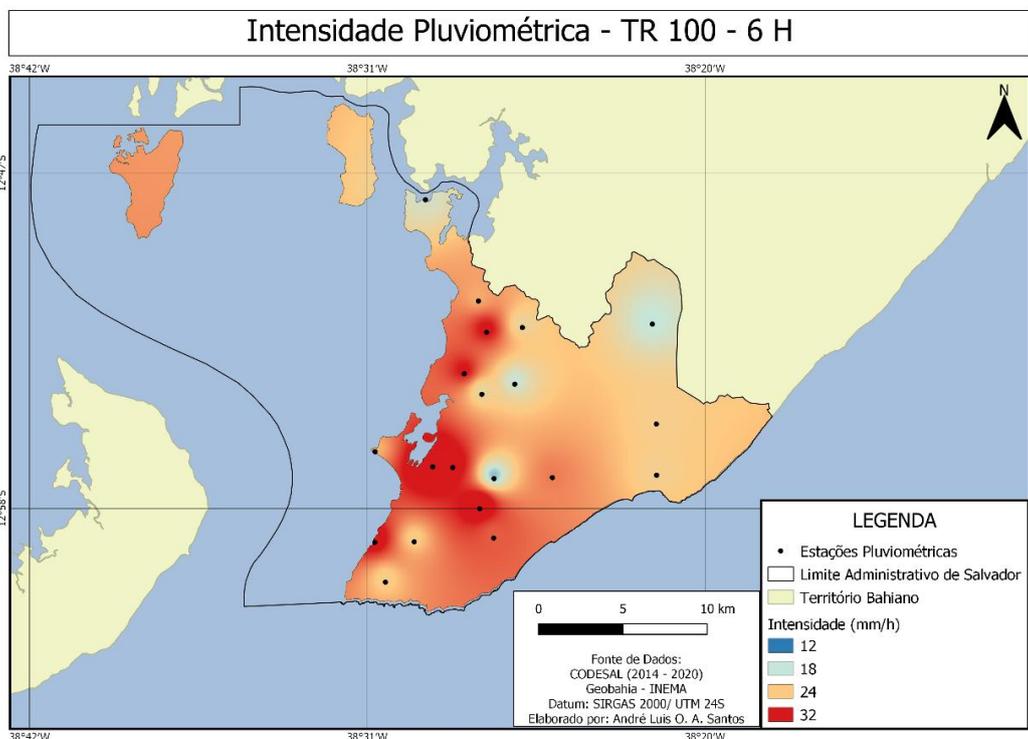
Fonte: autoria própria, a partir de dados do INPE (2011).

Figura 27 - Mapa de Intensidade Pluviométrica para chuvas de 6 h e TR 50 anos.



Fonte: autoria própria, a partir de dados do INPE (2011).

Figura 28 - Mapa de Intensidade Pluviométrica para chuvas de 6 h e TR 100 anos



Fonte: autoria própria, a partir de dados do INPE (2011).

e) Análise das chuvas de 24 h de duração

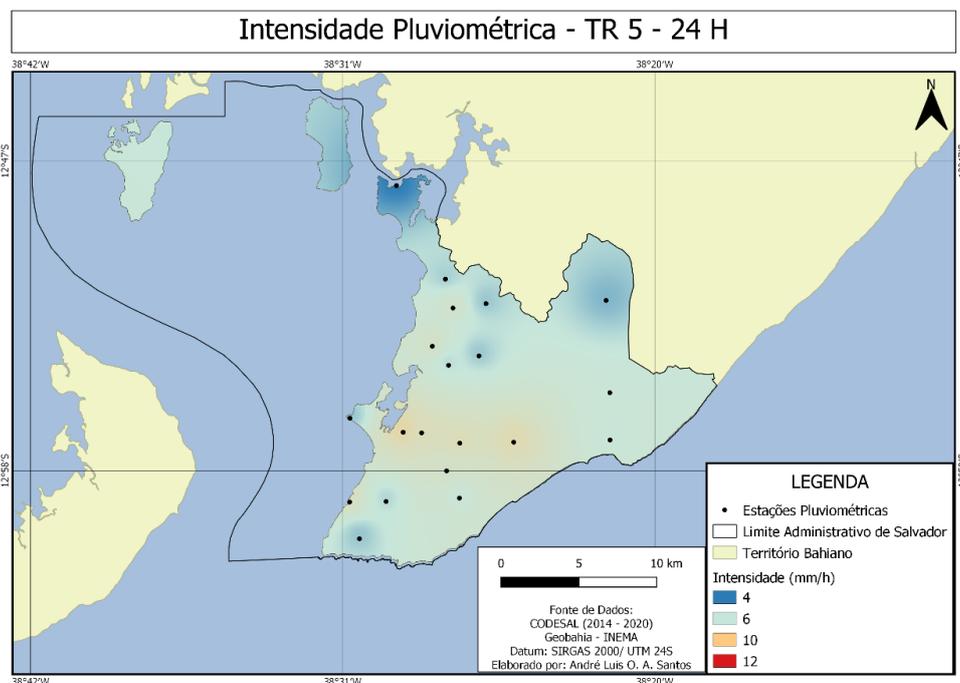
A interpolação dos dados de chuvas intensas com duração de 24 horas apresenta uma

amplitude de intensidade pluviométrica variando entre 4,9 e 12,1 mm/h. Ao avaliar a distribuição espacial da intensidade pluviométrica para os tempos de retorno de 5 e 10 anos (Figuras 29 e

30), observa-se uma homogeneidade em torno de baixa intensidade (4 a 6 mm/h), sem zonas críticas aparentes, apenas um aumento gradual da intensidade conforme o tempo de retorno aumenta. No entanto, na Figura 31, referente ao TR de 25

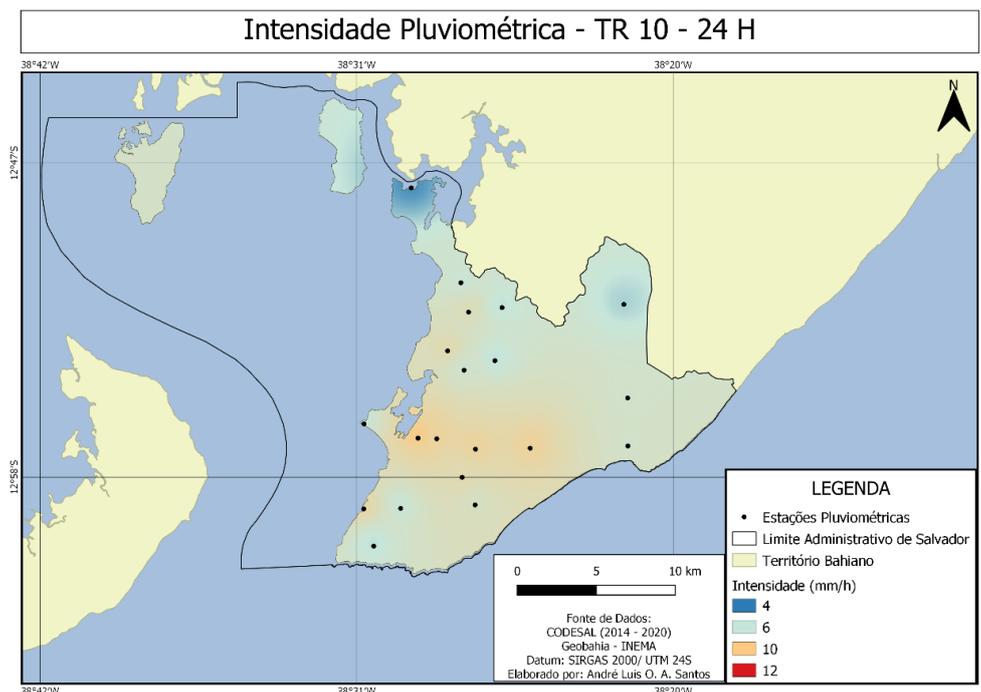
anos, a região de São Caetano emerge como uma zona crítica, semelhante à análise para chuvas de 6 horas. Apesar disso, a intensidade pluviométrica ainda é predominantemente homogênea, com valores entre 6 e 8 mm/h.

Figura 29 - Mapa de Intensidade Pluviométrica para chuvas de 24 h e TR 5 anos.



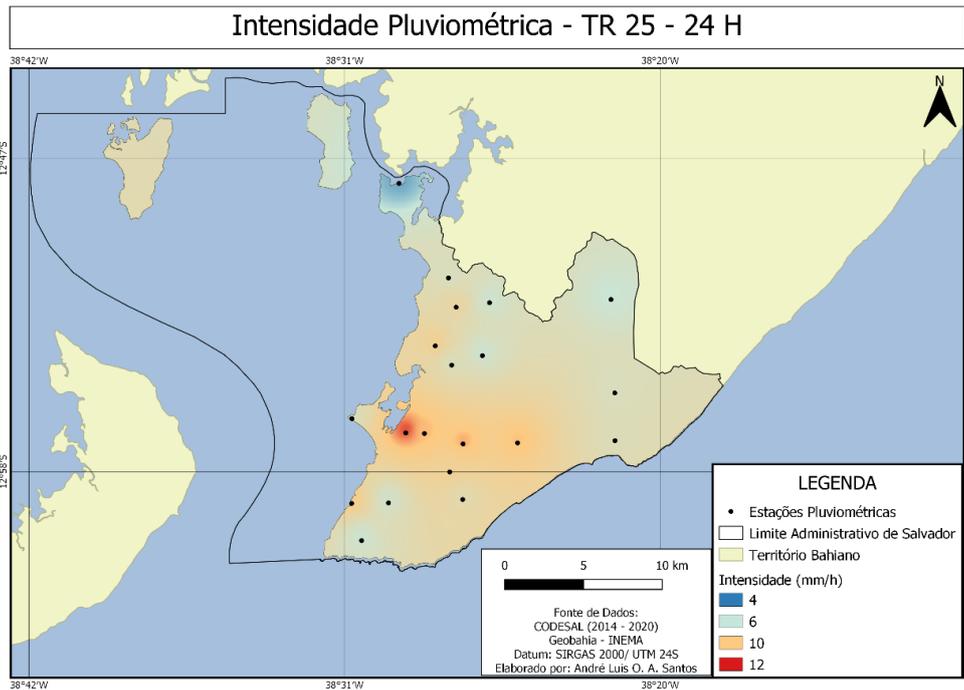
Fonte: autoria própria, a partir de dados do INPE (2011).

Figura 30 - Mapa de Intensidade Pluviométrica para chuvas de 24 h e TR 10 anos



Fonte: autoria própria, a partir de dados do INPE (2011).

Figura 31 - Mapa de Intensidade Pluviométrica para chuvas de 24 h e TR 25 anos.

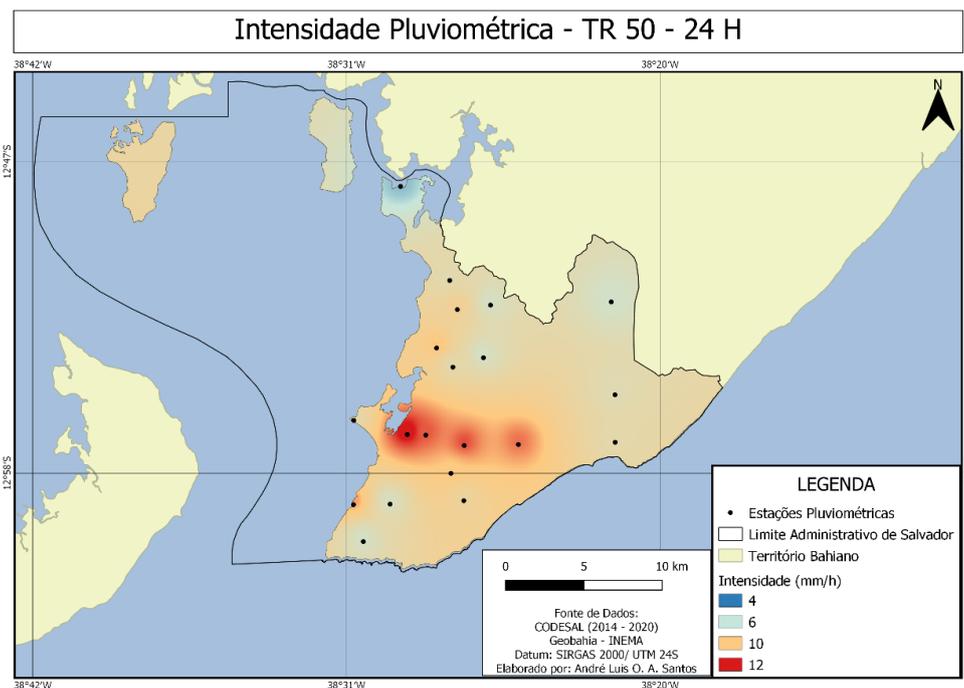


Fonte: autoria própria, a partir de dados do INPE (2011).

Finalmente, ao analisar a distribuição espacial para os tempos de retorno de 50 e 100 anos (Figuras 32 e 33), observa-se uma convergência dos valores nas estações de São Caetano, Fazenda Grande, Cabula, Tancredo Neves e CAB,

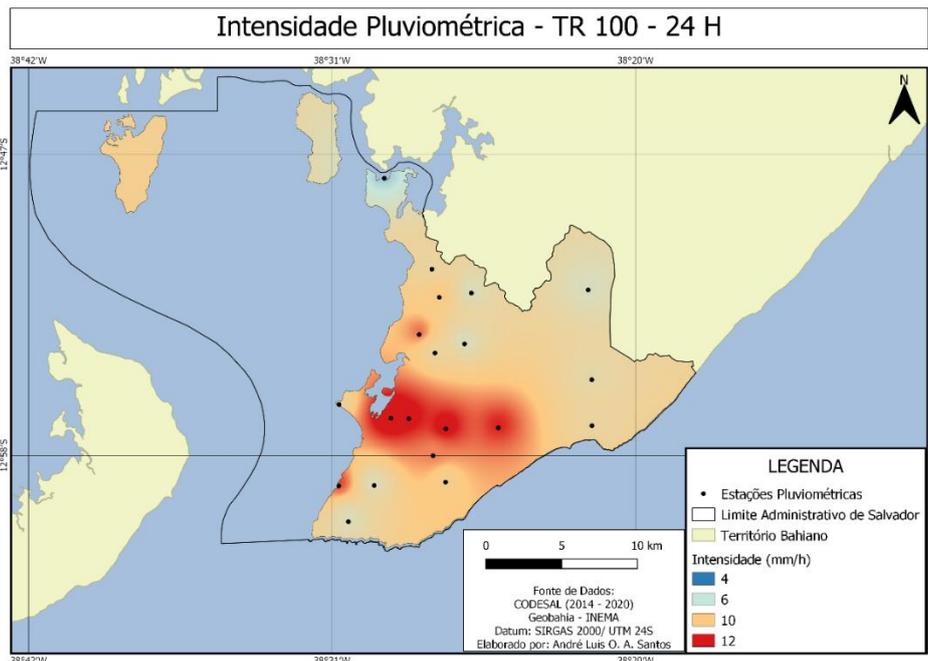
indicando uma zona crítica com intensidades de cerca de 12 mm/h. No geral, para essas recorrências, a intensidade pluviométrica predominante no município é de 10 mm/h.

Figura 32 - Mapa de Intensidade Pluviométrica para chuvas de 24 h e TR 50 anos



Fonte: autoria própria, a partir de dados do INPE (2011).

Figura 33 - Mapa de Intensidade Pluviométrica para chuvas de 24 h e TR 100 anos



Fonte: autoria própria, a partir de dados do INPE (2011).

f) **Análise Geral dos Mapas:**

Ao analisar os mapas de intensidade pluviométrica, identificaram-se zonas com prevalência de valores elevados, denominadas zonas críticas. Essas zonas apresentaram comportamento espacial variável conforme a duração das chuvas.

Para chuvas de curta duração (10 min, 30 min e 1 h), destacaram-se três grandes áreas críticas no município: (a) bairros próximos às estações Mussurunga e Itapuã; (b) bairros próximos às estações Centro, São Caetano, Fazenda Grande e Monte Serrat; e (c) bairros próximos às estações Periperi e Rio Sena. Para chuvas intensas de maior duração (6 e 24 horas), as zonas críticas se deslocaram para o centro do município, abrangendo áreas próximas às estações São Caetano, Fazenda Grande, Tancredo Neves, CAB e Cabula. Estas zonas são ilustradas na Figura 34.

Esses dados sugerem que as zonas litorâneas tendem a registrar chuvas mais intensas em curtas durações, enquanto a área central apresenta maior intensidade em chuvas prolongadas. Com base nas intensidades registradas nas zonas críticas e não críticas, foram elaboradas as Figuras 35 e 36, que apresentam as curvas IDF das áreas predominantes do município.

Dessa forma, destaca-se a importância de estabelecer diretrizes construtivas e normas municipais relacionadas ao tempo de retorno das obras que dependam de valores de intensidade

pluviométrica, conforme sugerido por Sato *et al.* (2018). Os resultados deste estudo indicam zonas críticas de alta intensidade pluviométrica, o que pode contribuir para o planejamento da infraestrutura de drenagem no município, como em planos diretores de manejo e drenagem de águas pluviais.

5 CONCLUSÃO

Este trabalho utilizou dados sub-horários das 20 estações pluviométricas do CEMADEN em Salvador para compreender a distribuição espacial dessas chuvas. Devido ao curto período de monitoramento dessas estações, aplicou-se a metodologia de séries parciais para viabilizar a análise.

Considerando-se cinco durações de chuva e cinco tempos de retorno, foram construídas as curvas IDF para cada estação, revelando-se três faixas de amplitude de intensidade pluviométrica: 0–160 mm/h (9 estações), 0–200 mm/h (7 estações) e 0–240 mm/h (4 estações).

Foi investigada a relação entre essas amplitudes de intensidade pluviométrica e a altitude das estações do CEMADEN, mas não foi encontrada uma correlação significativa, possivelmente devido às elevações topográficas moderadas.

Nos mapas de intensidade pluviométrica, identificaram-se zonas críticas e não críticas (ou seja, com maiores e menores intensidades). As zonas críticas variaram conforme a duração das

chuvas. Para chuvas de curta duração (10 min, 30 min, 1 h), identificaram-se três áreas principais: a) Mussurunga e Itapuã; b) Centro, São Caetano, Fazenda Grande e Monte Serrat; c) Periperi e Rio Sena. Para chuvas de maior duração (6 h e 24 h), as zonas críticas deslocaram-se para uma macrozona interna, abrangendo as áreas próximas às estações de São Caetano, Fazenda Grande, Tancredo Neves, CAB e Cabula.

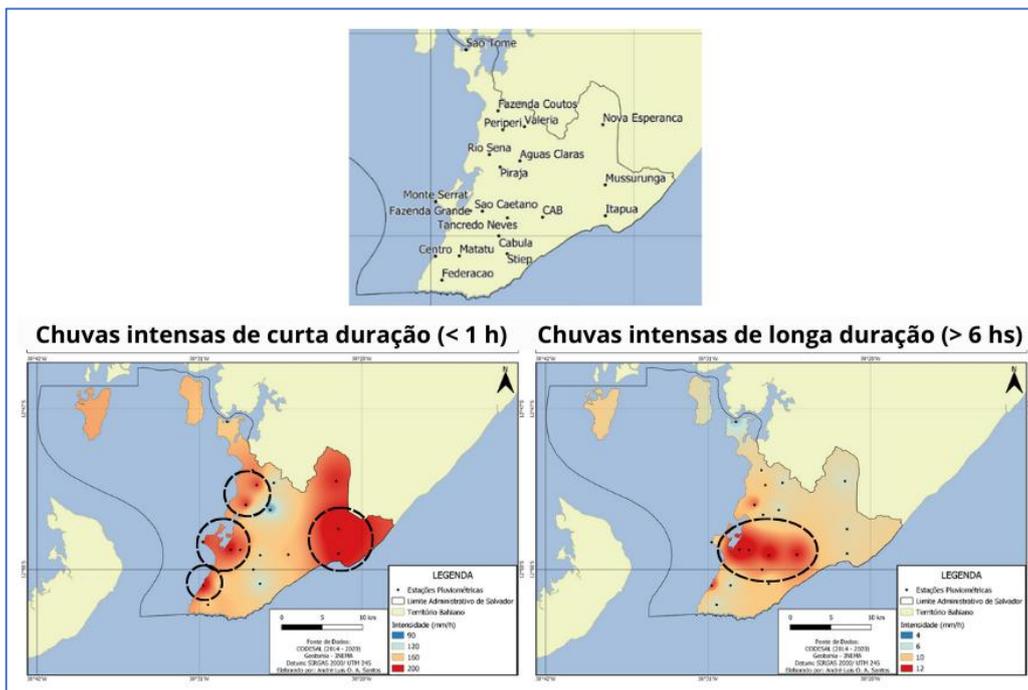
O estudo indicou que as zonas litorâneas de Salvador tendem a registrar chuvas mais intensas em durações curtas, enquanto a zona

central apresenta maior intensidade em chuvas de longa duração.

Sugere-se que estudos futuros sobre eventos hidrológicos extremos considerem a espacialização geológica do potencial vulnerabilidade hídrica, da ocorrência de desastres (como deslizamentos de terra e alagamentos), e da geologia, geomorfologia e pedologia.

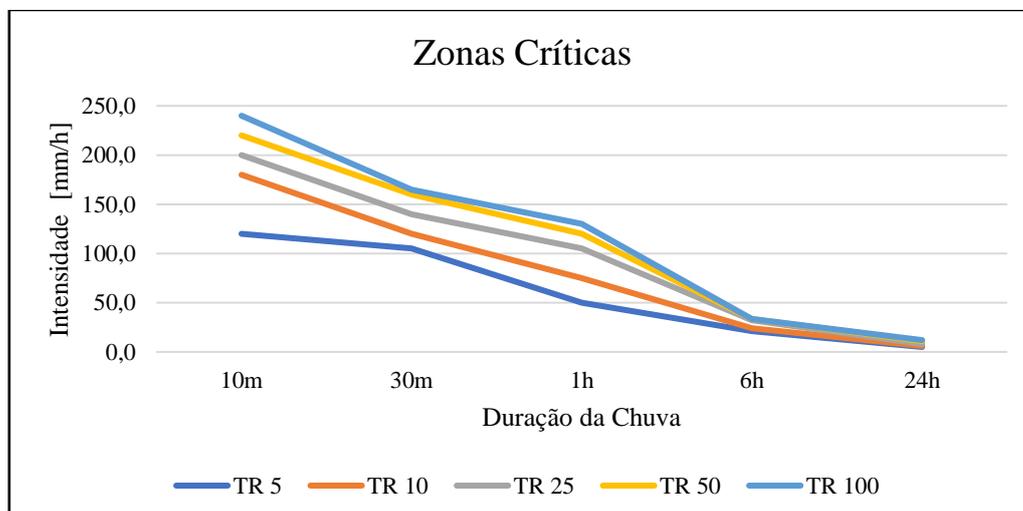
Por fim, destaca-se a importância do monitoramento pelo CEMADEN em Salvador, especialmente pela possibilidade de análises sub-horárias e pelo acesso público aos dados.

Figura 34 - Zoneamento das zonas críticas de chuvas de curta e longa duração



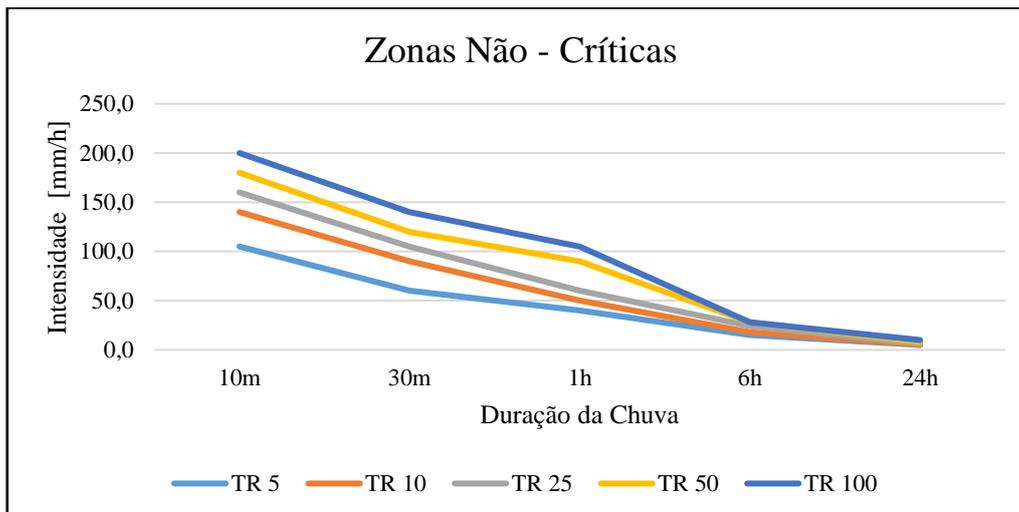
Fonte: autoria própria.

Figura 35 - Curvas IDF das Intensidades Pluviométricas das Zonas Críticas



Fonte: autoria própria.

Figura 36 - Curvas IDF das Intensidades Pluviométricas das Zonas Não – Críticas



Fonte: autoria própria.

REFERÊNCIAS

AFONSO, L. D.; SOUSA, A. N.; MONTEIRO, S. S. A dinâmica da cobertura vegetal de Salvador-BA (1995 a 2007): entre o fetiche e a degradação. **Revista VeraCidade**, Salvador, v. 5, n. 6, p. [...], dez. 2010.

BAHIA. Sistema Estadual De Informações Ambientais e de Recursos Hídricos (SEIA). **Mapas Interativos**. GEOBAHIA. Disponível em: <http://www.seia.ba.gov.br/mapas/interativos>. Acesso em: 21 fev. 2024.

BARRY, R. G.; CHORLEY, R. J. **Atmosphere, weather, and climate**. 8. ed. London: Taylor & Francis e-Library, 2003.

BRASIL. Portaria nº 5.141, de 14 de novembro de 2016. Institui as diretrizes da Política Nacional de Mobilidade Urbana e dá outras providências. **Diário Oficial [da República Federativa do Brasil]**, Brasília, DF, 16 nov. 2016, Seção 1, p. 5.

CENTRO NACIONAL DE MONITORAMENTO E ALERTAS DE DESASTRES NATURAIS (CEMADEN). **Mapa Interativo da Rede Observacional para Monitoramento de Risco de Desastres Naturais do Cemaden**. Disponível em: <http://www.cemaden.gov.br/mapainterativo/#>. Acesso em: 03 out. 2020.

CHEUNG, K. K. W.; RASULY, A. A.; JI, F.;

CHANG, L. T.-C. Spatial characteristics of precipitation in the Greater Sydney Metropolitan Area as revealed by the Daily Precipitation Concentration Index. **Atmosphere**, v. 12, n. 627, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/atmos12050627>. Acesso em:

FERREIRA, A. G.; MELLO, N. G. S. Principais sistemas atmosféricos atuantes sobre a região nordeste do Brasil e a influência dos oceanos Pacífico e Atlântico no clima da região. **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, v. 1, n. 1, p. 15-28, dez. 2005.

FERREIRA, R. M. A.; MENDES, T. G. de L. Average spatialization of rainfall in the city of Recife and evaluation of intense rain episodes using geostatistics. **Journal of Hyperspectral Remote Sensing**, v. 12, n. 6, p. 225-231, Dec. 2022.

FESTI, A. V. Coletânea das equações de chuva do Brasil. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 17., 2007, São Paulo. **Anais [...]**. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2007.

GENOVEZ, A. M.; ZUFFO, A. C. Chuvas intensas no estado de São Paulo: estudos existentes e análise comparativa. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 5, n. 3, p. 45-58, jul./set. 2000.

HALLDIN, M. **Intertropical Convergence Zone (ITCZ)**. Data de criação: 13 dez. 2016. Disponível em:

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:ITCZ_january-july.png. Acesso em: 02 dez. 2020.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). TOPODATA. Última atualização em nov. 2011. Disponível em: <http://www.webmapit.com.br/inpe/topodata/>. Acesso em: 26 nov. 2020.

JESUS, A. C.; MIRANDA, S. B.; DIAS, L. S. O.; BRITO JÚNIOR, J. A.; BURGOS, P. C.; CAMPOS, L. E. P. Contribuição para o zoneamento das áreas com características geotécnicas semelhantes da Cidade de Salvador visando aplicação em mapeamento de risco. *In: CONFERÊNCIA BRASILEIRA SOBRE ESTABILIDADE DE ENCOSTAS*, 4., 2005, Salvador. **Anais[...]**. São Paulo: Associação Brasileira de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, 2005, p. 17-25.

LYRA, M. J. A.; CAVALCANTE, L. C. V.; LEVIT, V.; FEDOROVA, N. Complexos convectivos de mesoescala sobre o Nordeste do Brasil e fenômenos adversos associados. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, Aracaju, v. 9, n. 3, p. 95-103, fev./mar. 2018.

MAIER, R.; KREBS, G.; PICHLER, M.; MUSCHALLA, D.; GRUBER, G. Spatial rainfall variability in urban environments—High-density precipitation measurements on a city-scale. **Water**, v. 12, n. 1157, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/w12041157>.

MAIDMENT, D. R. **Handbook of hydrology**. New York: McGraw-Hill, 1993.

MORAIS, M. D. C.; GAN, M. A. Vórtices ciclônicos em altos níveis sobre o nordeste do Brasil. **Climanálise**, Cachoeira Paulista, edição especial de 30 anos, p. 31-36, 2016.

NAGHETTINI, M.; PINTO, E. J. A. **Hidrologia estatística**. Belo Horizonte: Serviço Geológico do Brasil – CPRM, 2007.

NEVES, D. J. D.; ALCÂNTARA, C. R.; SOUZA, E. P. Estudo de caso de um distúrbio ondulatório de leste sobre o estado do Rio Grande do Norte – Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São

José dos Campos, v. 31, n. 4, p. 490-505, out./dez. 2016.

YEVJEVICH, V. Extremes in hydrology. *In: OLIVEIRA, J. T. (Org.). **Statistical extremes and applications***. Vimeiro: NATO Advanced Study Institute on Statistical Extremes and Applications, 1984, p. 197-220.

OLIVEIRA, W. P.; SILVA, M. A. V.; SOUZA, S. A.; SANTANA, C. C.; OLIVEIRA JUNIOR, A. R. Caracterização da variabilidade espacial e temporal da precipitação pluviométrica do centro sul baiano. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 10, n. 4, p. 1143-1151, jul. 2017.

ROCHA, L. S. **Identificação de áreas de vulnerabilidade hídrica por meio de processamento de informações espaciais e registro de ocorrências da Defesa Civil**. 2013. 142 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental Urbana) - Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2013.

SALVADOR. Secretaria Municipal de Sustentabilidade e Resiliência. Defesa Civil de Salvador (CODESAL). **Pluviômetros**. Disponível em: <http://codesal.salvador.ba.gov.br/index.php/pluvio> metros. Acesso em: 17 dez. 2020.

SANTANA, J. O.; CERQUEIRA, E. C. Movimentos de massa em Salvador: uma contribuição preliminar. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA/CONGRESSO NACIONAL DE GEOGRAFIA FÍSICA*, 17, 2017, Campinas. **Anais [...]**. Campinas: Instituto de Geociências da Universidade Estadual de Campinas, 2017.

SANTOS, A. H. M.; ARAGÃO, M. R. S.; CORREIA, M. F.; ARAÚJO, H. A.; SILVA, A. B. Distúrbio ondulatório de Leste e seus impactos na Cidade de Salvador. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, v. 27, n. 3, p. 355-364, set. 2012.

SANTOS, A. P. P.; ARAGÃO, M. R. S.; CORREIA, M. F.; SANTOS, S. R. Q.; SILVA, F. D. S.; ARAÚJO, H. A. Precipitação na Cidade de Salvador: variabilidade temporal e classificação em quantis. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, v. 31, n. 4, out./dez. 2016.

SATO, E. N.; SOUZA, D. O.; PAPINI, J. A. J.; LINO, J. F. L. Utilização de equações IDF para retroanálise de eventos gravitacionais de massa na cidade de Salvador/BA: estudo de caso do ano de 2017. **Revista Gestão e Sustentabilidade Ambiental**, Florianópolis, v. 7, n. esp., p. 603-617, jun. 2018.

SÃO PAULO (cidade). **Manual de drenagem e manejo de águas pluviais**: gerenciamento do sistema de drenagem urbana. São Paulo: Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbano, 2012.

SILVA, M. T.; ALCÂNTARA, C. R.; SOUZA, E. P.; OLINDA, R. A.; GONÇALVES, W. A. Influência da temperatura da superfície do mar na ocorrência de linhas de instabilidade na costa norte e nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, v. 32, n. 2, p. 261-268, abr./jun. 2017.

SOUZA, E. B.; ALVES, J. M. B.; NOBRE, P. Anomalias de precipitação nos setores norte e leste do nordeste brasileiro em associação aos eventos do padrão de dipolo observados na bacia do Atlântico tropical. **Revista Brasileira de**

Meteorologia, São José dos Campos, v. 13, n. 2, p. 45-55, 1998.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia**: ciência e aplicação. 4. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH, 2014.

UVO, C. R. B.; NOBRE, C. A. A zona de convergência intertropical (ZCIT) e a precipitação no norte do nordeste do Brasil. Parte II: a influência dos ventos e TSM do Atlântico tropical. **Climanálise**, Cachoeira Paulista, v. 4, n. 10, p. 39-49, 1989.

VALERIANO, M. M. **Topodata**: guia para utilização de dados geomorfológicos locais. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2008.

XAVIER, T. M. B. S.; XAVIER, A. F. S.; DIAS, M. A. F. S.; DIAS, P. L. S. Interrelações entre eventos ENOS (ENSO), a ZCIT (ITCZ) no Atlântico e a chuva nas bacias hidrográficas do Ceará. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 8, n. 2, p. 111-126, abr./jun. 2003.