

UTILIZAÇÃO DE EQUAÇÕES IDF PARA RETROANÁLISE DE EVENTOS GRAVITACIONAIS DE MASSA NA CIDADE DE SALVADOR/BA: ESTUDO DE CASO DO ANO DE 2017

DOI: 10.19177/rgsa.v7e02018603-617

Enos Nobuo Sato¹
Diego Oliveira de Souza²
Jaqueline Aparecida Jorge Papini³
João Felix de Luca Lino⁴



2º Seminário
Internacional de
**PROTEÇÃO E
DEFESA CIVIL**

RESUMO

Precipitações de alta intensidade e curta duração são um dos gatilhos para a deflagração de movimentos de massa. No caso de Salvador, o problema é ainda mais grave em função da grande exposição de pessoas em áreas de risco. Este artigo apresenta uma nova metodologia, baseada nas relações de Intensidade-Duração-Frequência, que utiliza a intensidade como um dos parâmetros deflagradores de movimentos de massa. Além disso, apresenta uma abordagem para a determinação de limiares de chuva que poderão definir o que são tormentas com potencial para a geração de desastres naturais e problemas de infraestrutura. Os resultados obtidos mostraram que a metodologia utilizada é capaz de apresentar os cenários com potencial para a geração de desastres naturais, bem como identificar ocorrências de problemas de infraestrutura urbana.

Palavras-chave: Movimentos de massa. Salvador. Limiar de chuva. Relações IDF. Chuvas intensas. Áreas urbanas.

¹Geólogo- MCTIC/CEMADEN. Mestre em Recursos Naturais e Meio Ambiente - Geologia/USP. E-mail: enos.sato@cemaden.gov.br.

²Meteorologista - MCTIC/CEMADEN. Doutor em Meteorologia - INPE. E-mail: diego.souza@cemaden.gov.br.

³Cientista de Computação - MCTIC/CEMADEN. Mestre em Ciência da Computação - UFU. E-mail: jaqueline.soares@cemaden.gov.br.

⁴Hidrólogo - MCTIC/CEMADEN. Mestre em Engenharia Ambiental - Hidrologia e Hidráulica Aplicada/UFSC. E-mail: joao.lino@cemaden.gov.br.

1 INTRODUÇÃO

Salvador é uma cidade pouco resiliente, haja vista seu histórico de acidentes envolvendo movimentos gravitacionais de massa. Segundo Gramani (2001), em abril de 1971, obteve-se o registro oficial de 104 óbitos e milhares de desabrigados. Em junho de 1989, os registros indicaram perdas socioeconômicas da ordem de 100 óbitos e com a destruição de dezenas de moradias devido a incidentes relacionados a movimentos gravitacionais de massa. Além disso, em março de 1992, os registros indicaram 11 óbitos também em função de movimentos gravitacionais de massa nesta cidade.

Segundo Tatizana et al. (1987), a correlação de escorregamentos com totais pluviométricos é insatisfatória, pois não considera a intensidade da precipitação ao longo do dia. Ainda neste contexto, os autores concluem que a susceptibilidade a escorregamentos é função do estado de saturação do solo, o qual é representado pelos valores acumulados de chuva de curta duração que atuam como deflagradores de processos de instabilização. Esses mesmos autores descrevem a densidade de escorregamentos como função da intensidade da precipitação.

Análises de eventos passados relacionados com intensidade de precipitação, no contexto de um sistema semiautomático de monitoramento e alerta, poderão auxiliar na tomada de decisão para o envio de alertas de movimentos de massa. Sendo assim, o objetivo deste trabalho é a realização de análises de eventos passados de movimentos de massa para o município de Salvador/BA, através de um diagnóstico dos eventos ocorridos no ano de 2017. O objetivo é identificar padrões de intensidade de precipitação com potencial para deflagração de movimentos gravitacionais de massa. Para realizar essa análise, foi utilizada a plataforma IDFAdmin (Papini *et al.*, 2017), desenvolvida pelo CEMADEN, com ênfase em seus módulos de gráfico, histórico e de análise para o processamento dos dados de intensidade de precipitação.

2 METODOLOGIA

Através da análise de eventos passados e de sua relação com valores de intensidade de precipitação, é possível identificar se os problemas relacionados a movimentos gravitacionais de massa são efetivamente desastres deflagrados por

processos naturais ou problemas de infraestrutura urbana. Para realizar a análise proposta, foram selecionados todos os alertas enviados pelo CEMADEN para a cidade de Salvador/BA entre janeiro e novembro de 2017. Com a base de dados dos alertas enviados, foram verificadas as condições nas quais estes foram enviados (cenário de risco e previsão meteorológica) para um total de 14 alertas, dentro do período de 21/02/2017 a 03/11/2017 (255 dias).

A análise da intensidade de precipitação para os eventos estudados foi realizada através de curvas obtidas por equações de Intensidade-Duração-Frequência (IDF) como limiares para a deflagração das ocorrências de movimentos gravitacionais de massa no município de Salvador. No contexto de engenharia, a adoção das relações IDF serve para subsidiar estudos hidrológicos e hidráulicos, os quais possibilitam o dimensionamento de obras de drenagem urbana, principalmente para a microdrenagem e a macrodrenagem.

Nas relações IDF, uma tormenta de projeto sempre está associada a uma probabilidade de ocorrência, possibilitando, desta maneira, um cenário de risco relacionado a um evento de tormenta, de acordo com sua probabilidade. Grandes escoamentos superficiais, provocados por tormentas intensas, podem vir a superar a capacidade projetada de obras hidráulicas, neste caso, gerando o potencial necessário para vir a causar prejuízos em áreas urbanas de alta densidade populacional, áreas cultiváveis, adjacências de rotas com grande fluxo de tráfego, causando enxurradas, inundações, rompimento de barreiras e taludes, acelerando processos de erosão dos solos e provocando assoreamento de cursos d'água.

A plataforma IDFAAdmin foi desenvolvida para a aplicação das curvas IDF em um ambiente operacional, utilizando informações pluviométricas em tempo real. A plataforma funciona em ambiente *Web* e possibilita o cadastro de equações IDF no portal, o qual calcula e apresenta as curvas IDF com os dados de pluviômetros, possibilitando a análise da tormenta em tempo real. Essa plataforma também possibilita a retroanálise de eventos a partir da busca por uma data específica, sinteticamente, realizando a comparação da curva I_{\max} (Intensidade Máxima) com as curvas IDF em micro e pequenas bacias hidrográficas urbanas. A projeção da curva I_{\max} é baseada em um método de cálculo para as intensidades máximas acumuladas das precipitações em intervalos de dez minutos, durante o período de um dia. A equação IDF utilizada neste trabalho para o município de Salvador foi proposta por Festi (2007), conforme segue:

R. gest. sust. ambient., Florianópolis, v. 7, n. esp p. 603-617, jun. 2018.

$$i_{t,TR} = \frac{1065,66 * TR^{0,163}}{(t + 24)^{0,743}}$$

Sendo que: *i* é a intensidade da chuva em mm/h, correspondente à duração *t* em minutos e tempo de retorno TR em anos; *t* é a duração da chuva em minutos; TR é o tempo de retorno em anos.

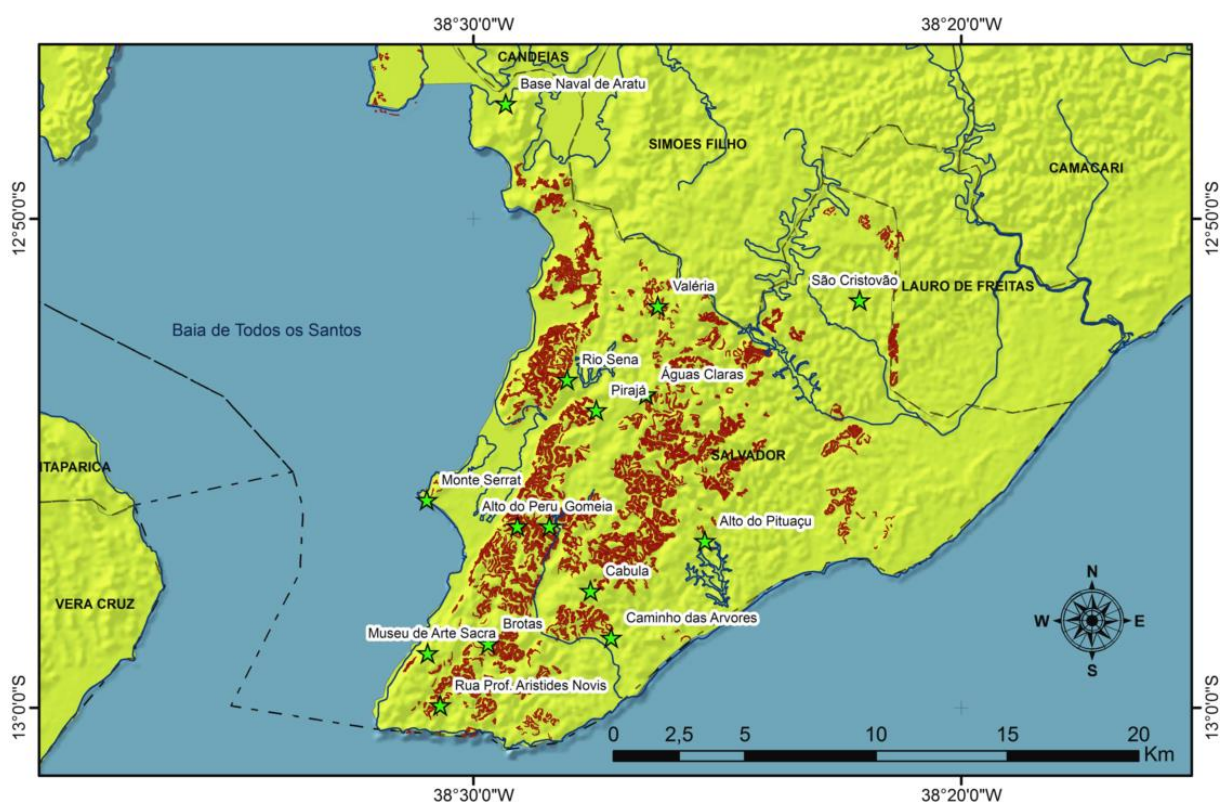
O tempo de retorno (TR) corresponde ao intervalo de tempo necessário para que uma determinada intensidade de chuva e duração definidas sejam igualadas ou superadas. Na literatura, tempos de retorno comumente reportados para microdrenagens são de 2 anos, enquanto que para dispositivos de drenagem superficial é de 5 anos, e para bueiros tubulares e celulares é de 25 anos. Logo, eventos de tormenta com TRs superiores aos indicados poderão provocar a falha destes equipamentos. É importante salientar que taludes de corte ou aterro possuem estruturas de microdrenagem, conforme preconizado pela norma técnica.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir do estudo e retroanálise dos alertas foi possível identificar dois grupos distintos: i) grupo de alertas para os quais não houve ocorrência, ou quando houve foram de pequena monta e não diretamente ligadas com movimentos gravitacionais de massa; ii) grupo de alertas para os quais os eventos superaram, no mínimo, o tempo de retorno de 1 ano.

A Figura 1 apresenta a localização geográfica das estações pluviométricas do Cemaden na cidade de Salvador/BA e suas áreas de risco. Em relação aos alertas emitidos, os eventos referentes aos alertas 800/2017 (18/03/2017) e 868/2017 (30/03/2017) alcançaram o TR de 5 anos (TR05) na estação Mussurunga do município de Salvador. Enquanto isso, o evento referente ao alerta 824/2017(22/03/2017) atingiu o TR de 2 anos (TR02) nas estações Periperi e Valéria. Por fim, o evento referente ao alerta 1051/2017(17/05/2017) teve TR de 50 anos (TR50) suplantada na estação Centro, ou seja, na região mais populosa da cidade, com TR de 2 anos (TR02) suplantada em outras localidades.

Figura 1 - Distribuição dos pluviômetros e áreas de risco na cidade de Salvador/BA.



Dentre os 14 alertas emitidos em 2017 para o município de Salvador, apenas 5 (35,71%) eventos de tormenta tiveram TR de 1 ano (TR01) superada e apenas 4 (28,57%) apresentaram cenário com potencial para a ocorrência de movimentos de massa, os quais superaram o tempo de retorno de 2 anos (TR02), que foi o critério adotado para caracterizar o evento como desastre natural. Do conjunto de alertas analisados, 3 destes se destacam por terem sido emitidos para eventos meteorológicos com potencial para o desenvolvimento de desastres, com algumas características que os distinguem como, por exemplo, valores de precipitação acumulada elevados para o período observado.

O cenário de risco na emissão do alerta 800/2017 (18/03/2017), referenciado nas Figuras 2 e 3, caracterizava-se por valores de até 52 mm de precipitação acumulada em 24 horas e 69 mm de precipitação acumulada em 72 horas. Foi possível verificar chuvas de intensidade forte na estação Mussurunga com 100,8 mm/h registrados em 10 minutos, superando TR de 5 anos (TR05). O contexto meteorológico do alerta 800/2017 era caracterizado em superfície pela presença de uma frente fria próxima à costa do Sudeste do Brasil, a Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) mais deslocada para norte, com o ramo de circulação de leste

penetrando o litoral da Bahia. Destaca-se que este escoamento, associado a ASAS, penetra o continente de forma perpendicular sobre a região do recôncavo baiano, e em altos níveis da atmosfera pode-se observar a presença de um cavado sobre a área de estudo. Esta configuração de escoamento em baixos níveis, aportando umidade para o continente, e de altos níveis, favoreceu a formação de áreas de instabilidade sobre a cidade de Salvador. Não houve registros de ocorrência de movimentos de massa, porém a intensidade máxima foi de 100,8 mm/h em 10 minutos e este evento foi classificado como evento potencial para ocorrência de desastres naturais, pois a TR de 5 anos (TR05) foi superada.

Figura 2 - Intensidade máxima registrada na estação Mussurunga, durante o evento do alerta 800/2017, superando TR05.

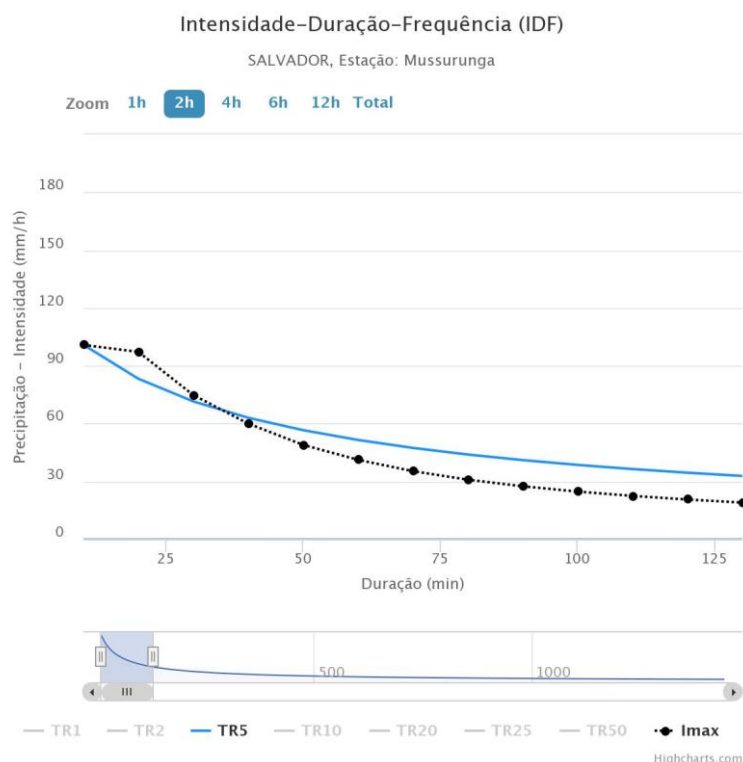
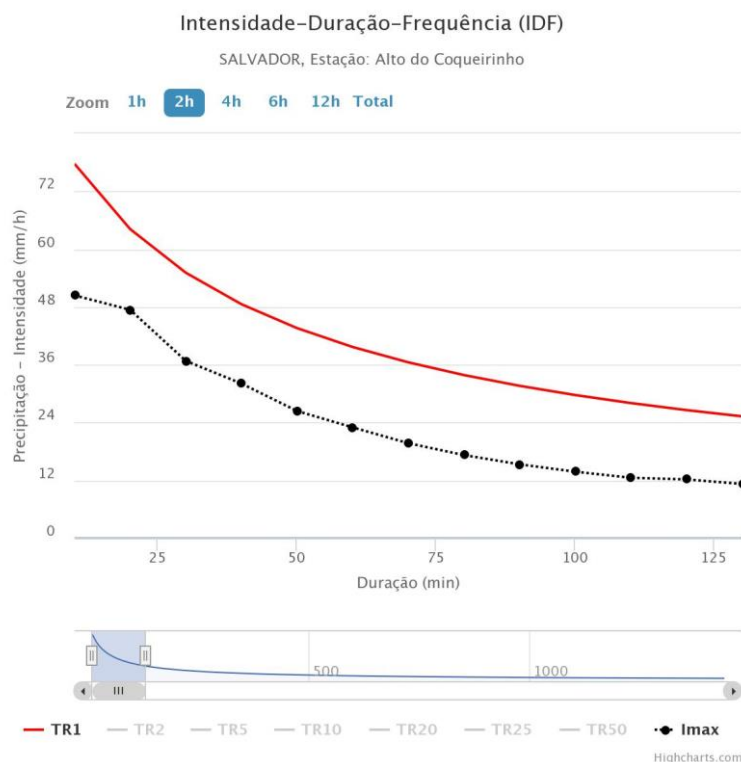


Figura 3 - Intensidade máxima registrada, na estação Alto Coqueirinho, durante o evento do alerta 800/2017.



O cenário de risco na abertura do alerta 824/2017 (22/03/2017), referenciado nas Figuras 4, 5 e 6, apresentava valores de precipitação acumulada da ordem de 30 mm precipitados em 1 hora, com uma ampla variação espacial da chuva, atingindo 7 dos 19 pluviômetros existentes na cidade. Dentre os pluviômetros atingidos, destaca-se a estação Valéria, localidade onde os dados pluviométricos indicaram a maior intensidade (84,48 mm/h em 10 minutos), superando a TR de 1 ano (TR01) e oscilando a TR de 2 anos (TR02). O contexto meteorológico no dia da emissão do alerta era caracterizado pela presença de um ciclone subtropical sobre o oceano Atlântico, o qual favoreceu o escoamento em baixos níveis da atmosfera, gerando uma região de convergência de umidade sobre a região do recôncavo baiano. Esta configuração, juntamente com a presença de um Vórtice Ciclônico em Altos Níveis (VCAN) da atmosfera, foio gatilho para a formação de áreas de instabilidade e consequente precipitação sobre o município de Salvador. Neste evento (alerta 824/2017) houve registros de dois deslizamentos de pequena monta reportados pela Defesa Civil municipal, ambos sem vítimas. O evento se classifica como de pequeno porte, pois houve somente deslizamentos pontuais e induzidos em cortes de terra.

Figura 4 - Intensidade máxima registrada na estação Mussurunga durante o evento do alerta 824/2017, osculando TR01.

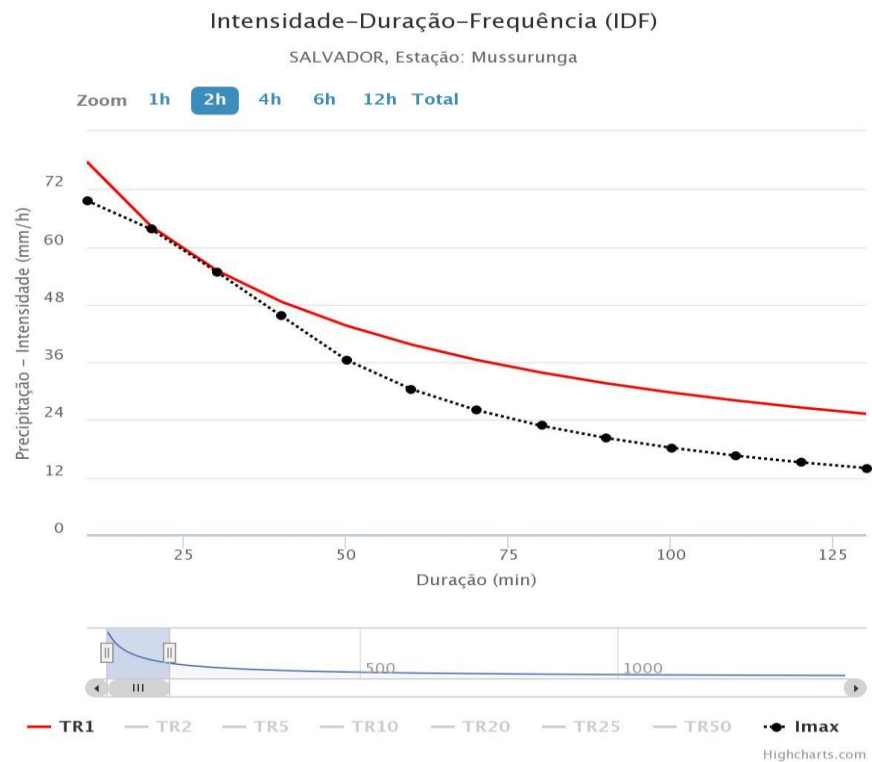


Figura 5 - Intensidade máxima registrada na estação Periperi durante o evento do alerta 824/2017, superando TR02

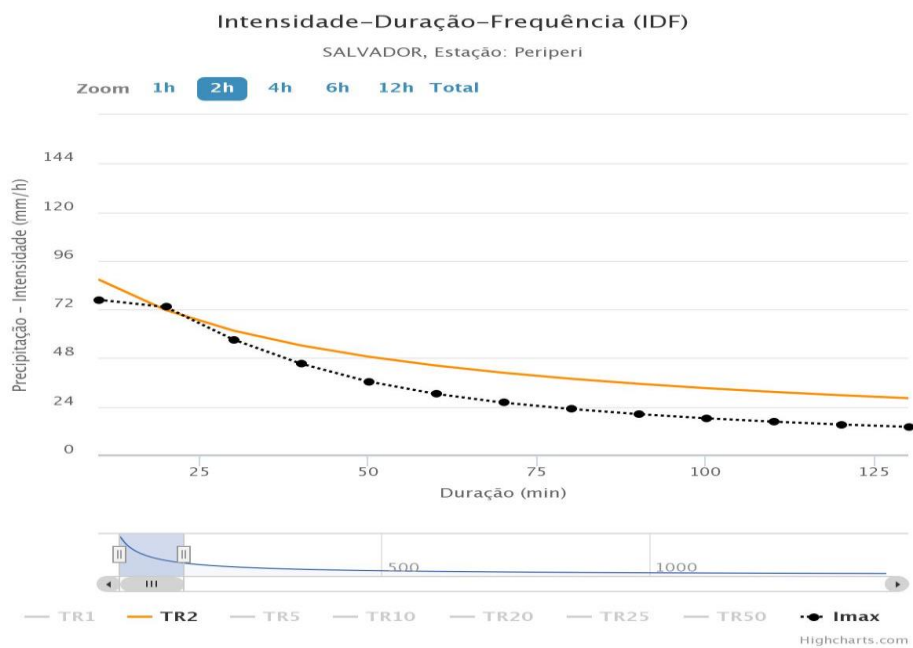
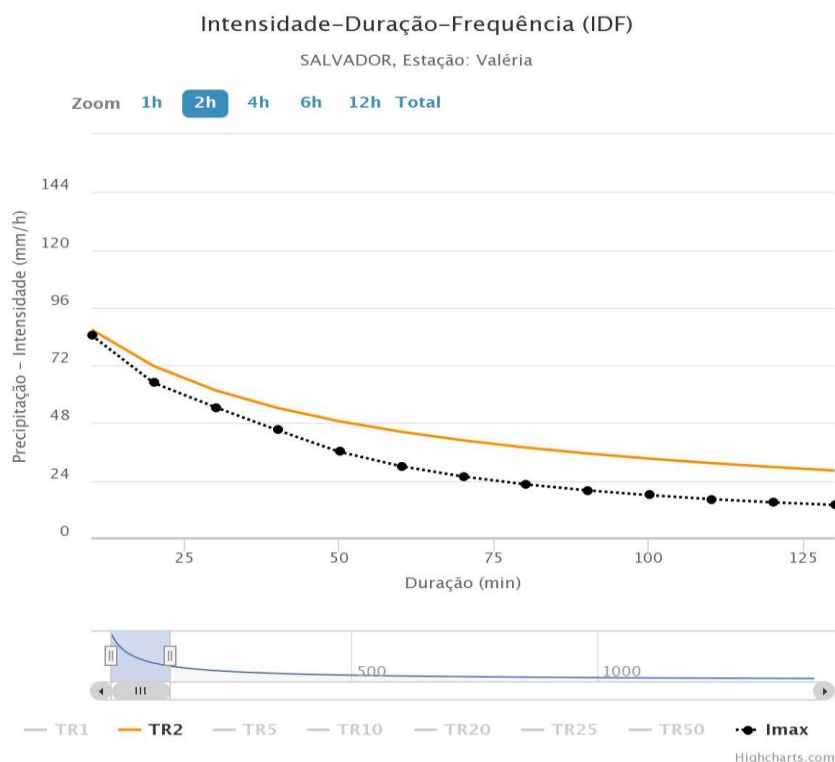


Figura 6 - Intensidade máxima registrada na estação Valéria durante o evento do alerta 824/2017, atingindo TR02.



O evento do alerta 868/2017 (30/03/2017), referenciado nas Figuras 7, 8 e 9, apresentou um cenário em sua abertura que se caracteriza por chuvas anteriores de até 57 mm em 3 horas. A estação Centro apresentou os maiores valores de intensidade de até 111,16 mm/h em 10 minutos. As taxas de precipitação verificadas na estação Centro oscilaram TR de 10 anos (TR10) para duração de 10 minutos, caracterizando uma tormenta de intensidade fortíssima e com grande possibilidade de trazer prejuízos. Nas estações CAB, Nova Esperança, Periperi e Pirajá foram registradas taxas de precipitação que superaram TR de 1 ano (TR01), sendo que a estação CAB superou TR de 2 anos (TR02) no intervalo de duração entre 10 a 70 minutos. Este evento se caracterizou por apresentar chuva espacialmente generalizada e de intensidade forte em diversos pontos da cidade, com potencial para a deflagração de movimentos de massa em praticamente todo município de Salvador. Segundo informações da mídia e da Defesa Civil, houve registros de ocorrências generalizadas por toda a cidade, principalmente deslizamentos de pequeno porte, queda de muros e alagamentos. Na ocasião da abertura do alerta 886/2017, havia a atuação de uma Zona de Convergência de Umidade (ZCOU)

sobre a região do recôncavo baiano, contribuindo significativamente para o aporte de umidade sobre a cidade de Salvador, gerando condição necessária para o desenvolvimento de áreas de instabilidade e consequente precipitação.

Figura 7 - Intensidade máxima registrada na estação Centro durante o evento do alerta 868/2017, superando TR05 e osculando TR10.

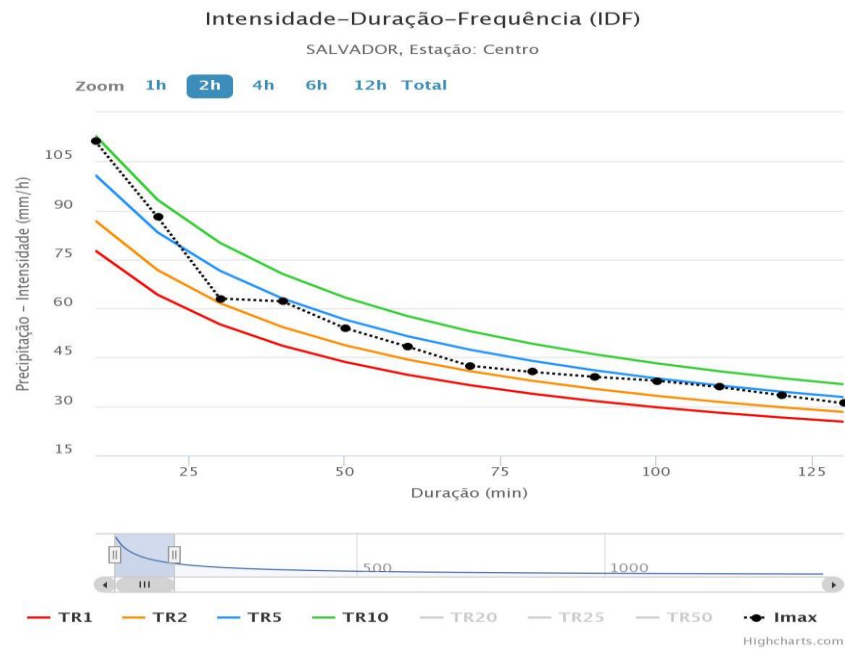


Figura 8 - Intensidade máxima registrada na estação Tancredo Neves durante o evento do alerta 868/2017, superando TR05.

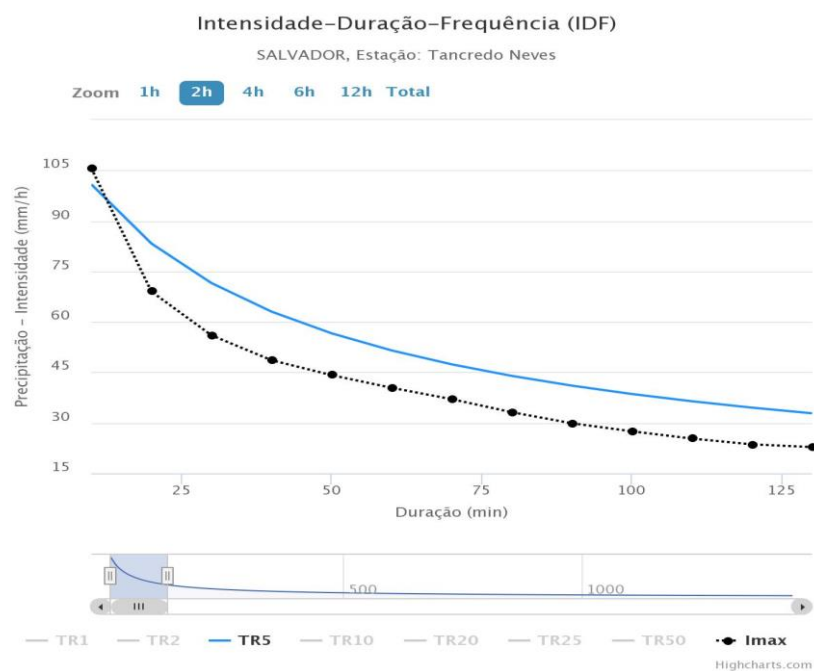
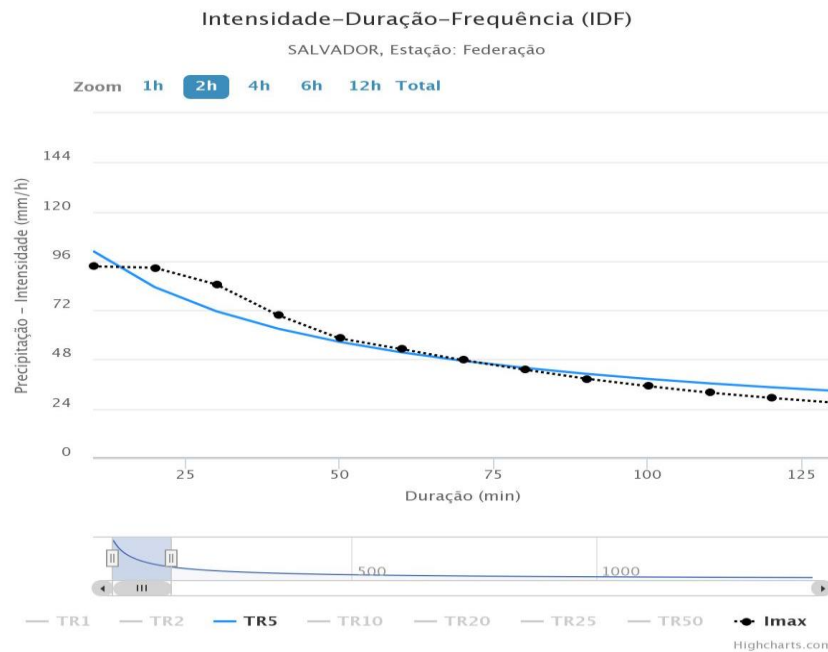


Figura 9 - Intensidade máxima registrada na estação Federação, durante o evento do alerta 868/2017, superando TR05.



Por fim, o alerta 1051/2017, referenciado nas Figuras 10 e 11, foi aberto em 17/05/2017, com nível moderado, apresentando alteração de nível em 18/05/2017 para alto e, posteriormente, foi rebaixado ao nível moderado em 20/05/2017, com cessar em 20/05/2017. O cenário de risco para o envio do alerta teve como gatilho o prognóstico de precipitações na forma de pancadas isoladas com intensidade moderada para a cidade de Salvador. A atualização para o nível alto ocorreu, pois os valores de precipitação acumulada atingiram os 81 mm em 72 horas e, em alguns pontos do município, já havia precipitado 14 mm em 6 horas. O evento de tormenta utilizado para a análise dos TRs foi registrado nas estações Centro, Cosme de Farias, Federação e Pirajá, com intervalos de intensidade que variaram de 80,47 mm/h a 190,96 mm/h em 10 minutos, superando TR de 1 ano (TR01) em todos os casos, e TR de 2 anos (TR02) nas estações Centro, Cosme de Farias e Federação. O evento descrito pode ser caracterizado como de médio porte, pois houve danos significativos em nível local, dois deslizamentos de pequeno porte, com o município na eminência da declaração de uma situação de emergência. Diferentemente dos demais eventos, o contexto meteorológico presente na emissão do alerta era dominado pelas condições de circulação atmosférica de altos níveis, com a presença do Jato Subtropical acoplado com o ramo norte do Jato Polar posicionados

praticamente sobre o sul da Bahia, criando condições dinâmicas de superfície favoráveis ao desenvolvimento de áreas de instabilidade e intensa precipitação.

Figura 10 - Intensidade máxima registrada na estação Cosme de Farias, durante o evento do alerta 1051/2017, superando TR01.

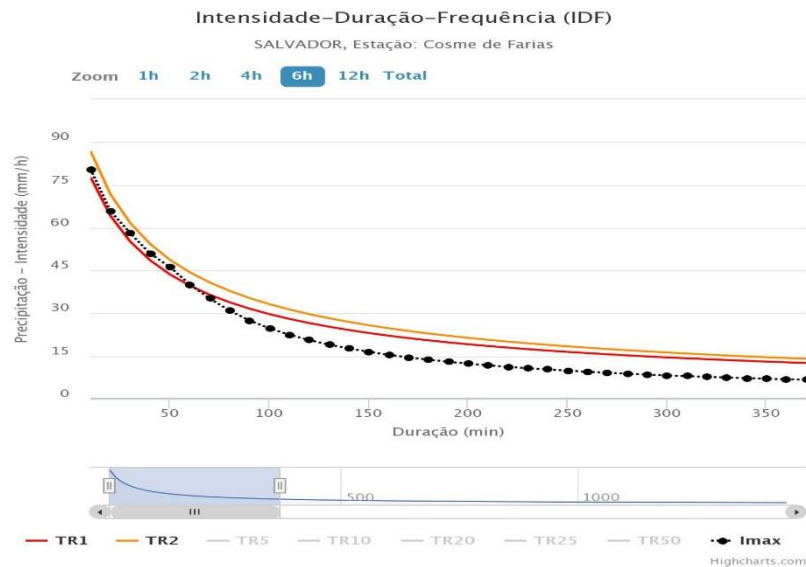
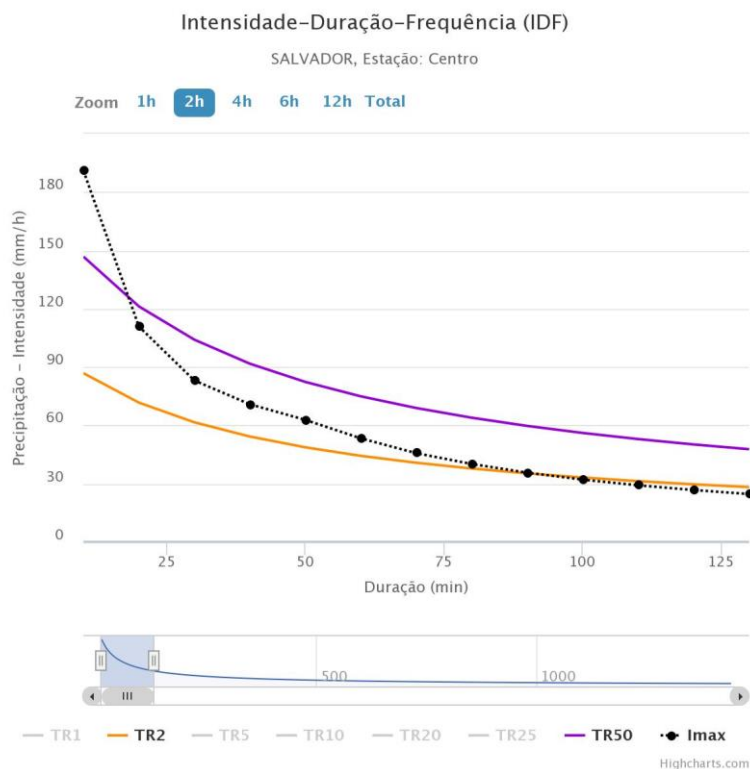


Figura 11 - Intensidade máxima registrada na estação Centro, durante o evento do alerta 1051/2017, superando TR50.



Quadro 1 - Síntese dos eventos de tormenta que atingiram a cidade de Salvador/BA.

Nº	Alerta	Data	Data	Vigência do alerta (dias)	Intensidade máxima @ 10 min (mm/h)	Tempo de Retorno atingido (TR)	Precipitação acumulada (mm@horas)
			Cessar				
1	555/2017	21/02/2017	23/02/2017	2	54,76	-	45 mm @ 24 h
2	800/2017	18/03/2017	19/03/2017	1	100,8	TR01	69 mm@72 h
3	824/2017	22/03/2017	25/03/2017	3	84,48	TR02	30 mm @24 h
4	868/2017	30/03/2017	06/04/2017	7	111,16	TR05	51 mm@3h
5	962/2017	14/04/2017	16/04/2017	2	73,2	-	46 mm@3 h
6	972/2017	20/04/2017	22/04/2017	2	37,2	-	23 mm@24 h
7	1024/2017	01/05/2017	06/05/2017	5	55,1	-	29 mm@96 h
8	1047/2017	12/05/2017	15/05/2017	3	58,88	TR01	44 mm@24 h
9	1051/2017	17/05/2017	21/05/2017	4	190,96	TR50	81 mm@72 h
10	1393/2017	10/07/2017	11/07/2017	1	57,25	-	43 mm @ 24 h
11	1427/2017	31/07/2017	01/08/2017	1	51,6	-	45 mm@72 h
12	1449/2017	03/09/2017	04/09/2017	1	46,53	-	61 mm@ 24 h
13	1530/2017	18/10/2017	20/10/2017	2	44,31	-	31 mm@96 h
14	1578/2017	03/11/2017	03/11/2017	0	28,8	-	71 mm@24 h

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir das análises realizadas neste trabalho, foi possível verificar que os principais problemas relacionados a movimentos gravitacionais de massa na cidade de Salvador não se tratam de desastres naturais em nenhum dos casos estudados para o ano de 2017, pois, dentre todos os casos estudados, somente no evento referente ao alerta 1051/2017 de 17/05/2017 é que a TR de 50 anos (TR50) foi superada, indicando um potencial para a ocorrência de um desastre. Assim, os eventos analisados puderam ser divididos em dois grupos definidos pela intensidade de precipitação máxima: um grupo de eventos apresentando intensidades de precipitação com potencial para a deflagração de movimentos gravitacionais de massa; e um segundo grupo definido por eventos que podem vir a danificar equipamentos urbanos, ou seja, superem TR de 2 anos (TR02).

A plataforma IDFAAdmin se apresentou como uma excelente opção para o monitoramento de áreas urbanas, principalmente relacionado com intensidade de precipitação, oferecendo em tempo real a possibilidade da avaliação da sua intensidade. Adicionalmente, seus módulos de análise e histórico permitiram a retroanálise de eventos de precipitação com precisão, diminuindo significativamente

o tempo de processamento de dados e possibilitando a realização de algumas das principais análises dentro da plataforma.

Dos resultados obtidos, pode-se concluir que a cidade de Salvador/BA é uma cidade de baixa resiliência em relação à ocorrência de movimentos gravitacionais de massa, dado que foi possível verificar que o risco assumido para a cidade foi bastante elevado. Isso se deve principalmente ao fato de que não há orientações construtivas indicando o tempo de retorno para obras a serem realizadas na cidade, assumindo automaticamente, por negligência, uma alta probabilidade de ocorrência de falhas e alto risco na operação da infraestrutura local, e que tormentas com I_{max} inferior a TR de 1 ano (TR01) já possuem potencial para a deflagração de deslizamentos. Foram verificados, no período de janeiro a novembro de 2017, quatro eventos de tormenta com potencial para a deflagração de desastres naturais, porém, em apenas três deles, houve ocorrências com deslizamentos de pequeno porte.

Por fim, destaca-se que a utilização da plataforma IDFAdmin poderá auxiliar os órgãos responsáveis pelo monitoramento e alerta de eventos relacionados a extremos de precipitação, assim como servir de suporte para as análises de deficiências das áreas urbanas frente a eventos meteorológicos sem grande intensidade.

USE OF IDF EQUATIONS FOR RETROANALYSIS OF LANDSLIDES EVENTS IN THE CITY OF SALVADOR/BA: 2017 CASE STUDY

ABSTRACT

Precipitations of high intensity and short duration are one of the triggers for the deflagration of landslides. In Salvador city, the problem is even more serious due to the great exposure of people in risk areas. This paper presents a new methodology, based on the Intensity–duration–frequency relations, which uses intensity as one of the trigger parameters of land slides. In addition, it presents an approach for determining rainfall thresholds that could define what are storms with potential for natural disaster generation and infrastructure problems. The results showed that the methodology used is able to present scenarios with potential for the generation of natural disasters, as well as to identify urban infrastructure problems.

Keywords: Landslides. Salvador. Rainfall Threshold. IDF relations. Intense rainfall. Urban areas.

REFERÊNCIAS

FESTI, A.V. **Coletânea das equações de chuva para o Brasil**. XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2007.

GRAMANI, M.F. **Caracterização geológica-geotécnica das corridas de detritos (“DebrisFlow”) no Brasil e comparação com alguns casos internacionais**. 372p. Dissertação de Mestrado-EPUSP – Escola Politécnica, USP, SP, 2001.

PAPINI, J. *et al.* **SoftwareIDFAdmin -Sistema de previsão e monitoramento de desastres naturais**. São José dos Campos - São Paulo: MCTIC/Cemaden. (No prelo). 2017.

TATIZANA, C.; OGURA, A.G.; CERRI, L.E.S.; ROCHA, M.C.M. **Análise de correlação entre chuvas e escorregamentos – Serra do Mar – Município de Cubatão**. – Anais do 5º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, São Paulo/SP, Out/1987, ABGE, vol. II, 1987.