

ESTABELECIMENTO DE RELAÇÕES IDF COM BASE EM ESTIMATIVAS DE PRECIPITAÇÃO POR SATÉLITE

Lidiane Gonçalves Collischonn¹, Bruno Collischonn², Carlos Eduardo Morelli Tucci²

RESUMO --- Atualmente, existe uma forte demanda por planos e projetos de drenagem urbana, em vista do crescimento da urbanização e de novas exigências legais. Tais planos e projetos deverão esbarrar em uma ausência de relações Intensidade-Duração-Frequência para a maior parte das cidades brasileiras, bem como de dados pluviográficos que possibilitem sua construção. Sendo assim, metodologias alternativas de estimativa de curvas IDF serão necessárias. Neste trabalho, foram estimadas relações IDF para todas as sedes municipais brasileiras a partir de estimativas de precipitação do satélite TRMM, que faz medições com resolução temporal de 3 horas. As chuvas máximas com durações menores do que 3 horas foram obtidas através de relação entre durações. As curvas IDF geradas foram comparadas com relações IDF clássicas, consideradas neste trabalho como a “verdade de campo”. Os resultados mostram que as curvas IDF geradas a partir do TRMM possuem incertezas, porém são uma alternativa de utilização viável para locais sem dados.

ABSTRACT --- Currently, there is a need for urban drainage projects and planning in Brazil, due to continuing urbanization and a new legal framework. Such plans and projects will demand regionalized Intensity-Duration-Frequency relations, at least for cities larger than 100.000 inhabitants. Such relations, as well as the pluviographic data which is needed to build them, are often unavailable in Brazil. Thus, alternative techniques to estimate IDF relations will be needed. In this work, IDF relations were estimated based on 3-hourly TRMM precipitation estimates. They were then compared to classical IDF relations in sites with pluviographic data, which were considered to be ground-truth. Results show that TRMM still has important uncertainties, but are a good alternative in places with no data at all.

Palavras-chave: IDF – TRMM – estimativa de precipitação por satélite

¹ Coordenadora de contratos - Concremat Engenharia e Tecnologia – Contato: lidiane.goncalves@concremat.com.br

² Especialista em Recursos Hídricos – Agência Nacional de Águas

³ Professor – Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH-UFRGS)

1. INTRODUÇÃO

Existe atualmente uma grande demanda pela elaboração de planos de drenagem urbana, um dos componentes do Plano Municipal de Saneamento e, por conseqüência, demanda intensa pela elaboração de projetos de drenagem urbana. Estas demandas esbarrarão na ausência de relações Intensidade-Duração-Frequência (IDF) para a maior parte dos municípios. Além disso, existe carência de dados pluviográficos para a determinação das relações IDF utilizadas em planos e projetos de drenagem urbana, uma vez que, no país, existem muitos pluviômetros, mas poucos pluviógrafos. Mesmo quando existem, as séries registradas não são suficientemente longas.

A coleta e o armazenamento de dados pluviográficos no Brasil encontram-se dispersos em um grande número de instituições, como INMET, ANA, órgãos municipais e institutos de pesquisa. Não existe um esforço em nível nacional de compilação e disponibilização destas informações. Boa parte dos pluviógrafos instalados em meados do século XX, que deram origem a trabalhos clássicos como Pfafstetter (1957) e Wilken (1978), não estão mais operantes ou, pelo menos, não há disponibilidade dos dados coletados.

Por outro lado, uma massa cada vez maior de dados de sensoriamento remoto vem sendo disponibilizada na internet, em resoluções temporais e espaciais cada vez mais refinadas. As estimativas de precipitação por satélite podem ser um subsídio importante na estimativa de relações intensidade-duração-frequência. Embora ainda não existam estimativas de precipitação por satélite com duração da ordem de minutos, alguns satélites já disponibilizam dados com duração de algumas horas. De fato, Collischonn (2006) já sinalizava para a possibilidade de utilização de dados do satélite TRMM em escala temporal mais refinada.

Sendo assim, o presente estudo se justifica na medida em que há um grande número de cidades no país que necessitarão de planos diretores, a maioria das quais não conta com relações IDF determinadas, ou séries históricas de pluviógrafos/pluviômetros disponíveis, que poderiam possibilitar o estabelecimento das curvas IDF para utilização na estimativa de chuvas de projeto.

O objetivo geral deste trabalho foi de verificar a aplicabilidade de estimativas de precipitação por satélite na determinação das relações IDF em locais com dados de precipitação precários ou inexistentes.

Para atingir o objetivo principal, foram traçados alguns objetivos específicos, a saber:

- Estabelecer curvas de intensidade-duração-frequência a partir de estimativas de precipitação por satélite sobre áreas urbanas brasileiras;
- Avaliar a adequação das curvas geradas em comparação com curvas IDF existentes, a serem consideradas a “verdade de campo”;

2. ESTIMATIVAS DE PRECIPITAÇÃO POR SATÉLITE

Os primeiros métodos de estimativa de precipitação por satélite eram baseados em imagens em bandas no infravermelho (IR) e no visível (VIS). Mais recentemente, começaram a surgir metodologias usando imagens de sensores de micro-ondas (LEVIZZANI, 1998). Atualmente, técnicas híbridas vêm sendo propostas, as quais se propõem a extrair as vantagens e minimizar as desvantagens de cada uma.

Em função de ser o satélite mais bem equipado em termos de instrumentos para estimativa de precipitação, o satélite TRMM fornece estimativas mais precisas do que as técnicas indiretas baseadas em imagens de outros satélites (BARRERA, 2005), sendo usado inclusive para validação dessas técnicas. Em vista disso e também do fato de que as séries disponíveis estimadas a partir desse satélite são mais longas, usar-se-ão exclusivamente dados de precipitação estimados pelo TRMM neste trabalho.

O satélite TRMM é um projeto em parceria entre a NASA e a Agência Japonesa de Exploração Aeroespacial (JAXA) e foi lançado em 27 de novembro de 1997, com o objetivo específico de monitorar e estudar a precipitação nos trópicos, além de verificar como a mesma influencia o clima global (KUMMEROW *et al.*, 2000).

O projeto TRMM gera diversos produtos (estimativas) de acordo com a combinação de instrumentos usada no algoritmo de cálculo. O produto 3B42, que será usado neste trabalho, usa estimativas de precipitação por micro-ondas do TMI, corrigidas através de informações sobre a estrutura vertical das nuvens, obtidas do PR. O projeto TRMM possui ainda um programa de validação em campo, para minimização das diferenças entre estimativas por satélite e medições no solo. As estimativas são então convertidas para acumulados mensais por meio de interpolação para preencher as lacunas na continuidade temporal, decorrentes da baixa frequência de passagem, gerando o produto 3B31. Esse produto tem alta resolução espacial, de 0,25°, porém resolução temporal inadequada para a utilização em projetos de drenagem urbana. Os acumulados mensais são então usados para corrigir estimativas baseadas em imagens do infravermelho de satélites da série GOES, os quais possuem resolução temporal de 3 horas. Consegue-se, assim, um produto que combina resoluções temporal e espacial altas.

3. METODOLOGIA

3.1. Estimativas das precipitações máximas a partir de dados do TRMM

Conforme mencionado, o produto 3B42 do TRMM disponibiliza dados de 3h em 3h, com resolução espacial de 0,25° x 0,25°. A partir do sítio <http://disc2.nascom.nasa.gov/Giovanni/tovas/> foram obtidas as séries desde janeiro de 1998 até dezembro de 2009 nos *pixels* que englobam as seguintes localidades: Porto Alegre (RS), Curitiba (PR), Rio de Janeiro (RJ), Brasília (DF), Aracaju (SE), Fortaleza (CE), Manaus (AM) e Porto Velho (RO). Quando a coordenada do posto pluviográfico utilizado na obtenção da relação IDF empregada na análise comparativa era conhecida, esta era considerada para escolha do *pixel* envolvente. Nos demais casos foram consideradas as coordenadas da respectiva sede municipal, conforme consta no banco de dados do IBGE do ano de 2000.

Segundo Wilken (1978), a extensão das séries do TRMM (12 anos) já permite o uso de séries de máximos anuais para geração de relações IDF, não sendo necessária a adoção de séries parciais.

Para cada localidade, foram identificados os máximos anuais de 3, 6, 9, 12 e 24h, e, à série de cada duração, foi ajustada uma distribuição estatística. Sendo a precipitação máxima teoricamente ilimitada na direção positiva, optou-se por uma distribuição assintótica dos extremos, no caso a distribuição de Gumbel (LANNA, 1993).

3.2. Comparação das precipitações máximas obtidas a partir do TRMM com precipitações estimadas por IDF existente

Em cada localidade, as precipitações máximas geradas (altura precipitada em mm) foram comparadas com as precipitações máximas obtidas a partir de curvas IDF clássicas, para a mesma duração e tempo de retorno. As curvas IDF ditas clássicas são basicamente as curvas derivadas do trabalho de Pfafstetter (1957), sintetizadas em trabalhos posteriores, como Bertoni e Tucci (1993) e Frago Jr. (2004). Adicionalmente, as precipitações das curvas IDF estabelecidas para São Paulo e Rio de Janeiro por Wilken (1978 *apud* Bertoni e Tucci, 1993) foram comparadas com dados do TRMM, bem como as precipitações da equação IDF atualizada para Brasília durante a elaboração de seu Plano Diretor de Drenagem Urbana (DISTRITO FEDERAL, 2009).

As relações IDF podem ser representadas através da seguinte forma:

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

Onde TR é o tempo de retorno em anos; I é a intensidade da precipitação em mm/h; t é a duração em minutos; a , b , c e d são parâmetros ajustados para cada localidade ou estação de medição.

Portanto, para os fins do presente trabalho, as curvas IDF de Pfafstetter replicadas em trabalhos posteriores e demais relações IDF estabelecidas e publicadas, apresentadas na Tabela 1, foram consideradas a “verdade de campo”, ou a representação mais próxima das chuvas máximas em cada localidade.

Tabela 1. Parâmetros das relações IDF empregadas como a “verdade de campo”.

LOCALIDADE	a	b	c	d	R2	FONTE
Porto Alegre (RS)	816,598	0,167	12	0,760	0,99911	(1)
Curitiba (PR)	998,280	0,178	9	0,784	0,99942	(1)
Rio de Janeiro (RJ)	1239,000	0,150	20	0,740	-	(3)
Brasília (DF)	1574,700	0,207	8	0,884	0,99800	(4)
Aracajú (SE)	834,205	0,179	15	0,726	0,99551	(1)
Fortaleza (CE)	1408,613	0,167	12	0,778	0,99869	(1)
Manaus (AM)	1136,504	0,158	10	0,764	0,99819	(1)
Porto Velho (RO)	1182,378	0,159	11	0,757	0,99664	(1)

Fonte:(1) Fragozo Jr., 2004; (2) Bemficaet al., 2000; (3) Bertoni e Tucci, 1993; (4) Distrito Federal, 2009. Nota: # em mm/min.

Para cada localidade e diferentes tempos de retorno, sendo considerados 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos de tempo de recorrência, foram, portanto, comparadas as precipitações máximas do TRMM, obtidas neste trabalho, e de Pfafstetter, para as seguintes durações: 3, 6, 9, 12 e 24h. s comparações foram gráficas, procurando-se verificar se há tendência do TRMM em sub ou superestimar as precipitações máximas.

3.3. Geração do mapa de parâmetros a , b , c e d das relações IDF para o Brasil

Como subsídio final deste trabalho, procedeu-se a geração dos parâmetros de curvas IDF para todas as sedes municipais brasileiras, a partir de dados de precipitação estimados pelo satélite TRMM.

Para automatização da geração de curvas IDF para as sedes municipais, foi implementado um programa em linguagem MATLAB 2008®, que realiza, de forma iterativa para todas as sedes municipais, a leitura das coordenadas da sede municipal, a identificação do *pixel* de 0,25° do TRMM envolvente à coordenada da sede, o *Download* da série de precipitações de 3h do TRMM no *pixel*, de janeiro de 1998 a dezembro de 2009, o ajuste da distribuição de Gumbel aos máximos de cada duração, e estimativa das lâminas precipitadas e intensidades para tempos de recorrência de 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos e o ajuste dos parâmetros a, b, c, d por regressão múltipla.

4. RESULTADOS

Este item apresenta uma comparação direta entre os valores de altura das precipitações (em mm) extraídas da relação IDF existente e os valores estimados a partir das relações IDF ajustadas

com dados de precipitação medida pelo satélite TRMM, para locais dotados de relações IDF, situados em quinze municípios distintos.

A comparação para as cidades localizadas na região sul do Brasil aponta para tendência à superestimativa das precipitações estimadas pelo TRMM quando comparadas a “verdade de campo”, embora menos acentuada nos casos dos dois últimos municípios, conforme detalham os parágrafos a seguir.

Na figura 1, é possível observar a comparação entre as precipitações estimadas pelo TRMM, no retângulo envolvente (*pixel* de resolução dos dados do satélite) definido pelas coordenadas 30,0° e 30,25° S, 51,25° e 51,0° W, e aquelas chuvas geradas a partir da relação IDF estabelecida para Porto Alegre (FRAGOSO JR., 2004).

Nota-se clara superestimativa dos valores de precipitação do TRMM em comparação aos determinados pela IDF existente para a cidade de Porto Alegre, conforme indica a localização de todos os pontos acima da reta que caracteriza diferenças nulas entre ambas as estimativas. Em termos percentuais médios, a superestimativa foi de 57%.

Semelhantemente superestimadas estão as precipitações determinadas com dados do TRMM, no retângulo envolvente compreendido entre as coordenadas 25,25° e 25,50° S, 49,50° e 49,25° W, em relação às obtidas da IDF de Curitiba (BERTONI & TUCCI, 1993), conforme pode ser visto na figura 1.

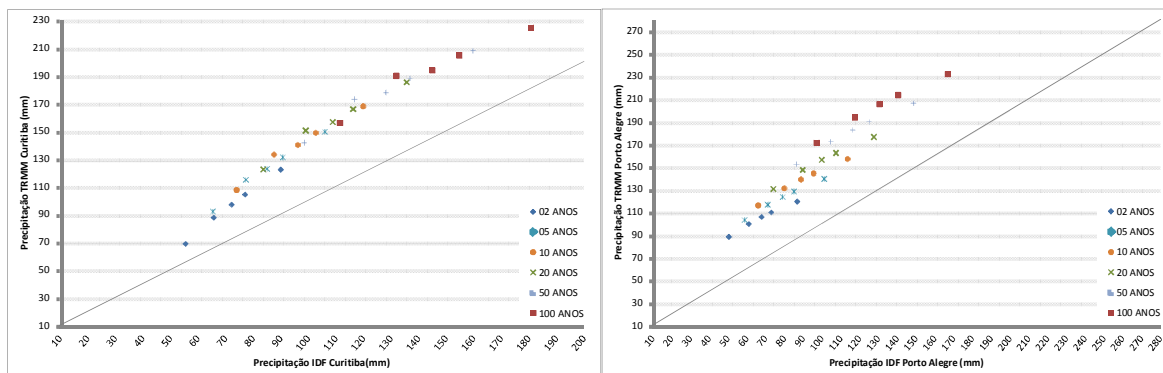


Figura 1. Comparação entre as precipitações estimadas pela IDF e as ajustadas com dados do TRMM para Porto Alegre (esquerda) e Curitiba (direita)

No caso das cidades situadas na região sudeste do país, não foi possível identificar uma tendência única no comportamento das precipitações estimadas pelo TRMM em comparação as equações IDF empregadas na análise, consideradas as “verdades de campo” neste trabalho, conforme pode ser observado das comparações realizadas para a cidade do Rio de Janeiro (RJ).

No caso das precipitações do TRMM no Rio de Janeiro, obtidas nas coordenadas 22,75° e 23,0° S, 43,25° e 43,0° W, percebe-se na figura 2 tendências à subestimação em comparação com as precipitações geradas pela IDF existente (BERTONI & TUCCI, 1993). Além disso, é possível notar que as diferenças vão aumentando para chuvas de durações maiores.

A comparação das precipitações geradas pela IDF de Brasília (DISTRITO FEDERAL, 2009) com as estimadas pelo TRMM, no *pixel* que contém a coordenada do posto do INMET em Brasília, cujos dados foram utilizados no ajuste da equação IDF, é apresentada na figura 2. Neste caso, percebe-se certa aproximação entre os valores de precipitação, prevalecendo a tendência de subestimativa do TRMM em relação às precipitações geradas pela IDF.

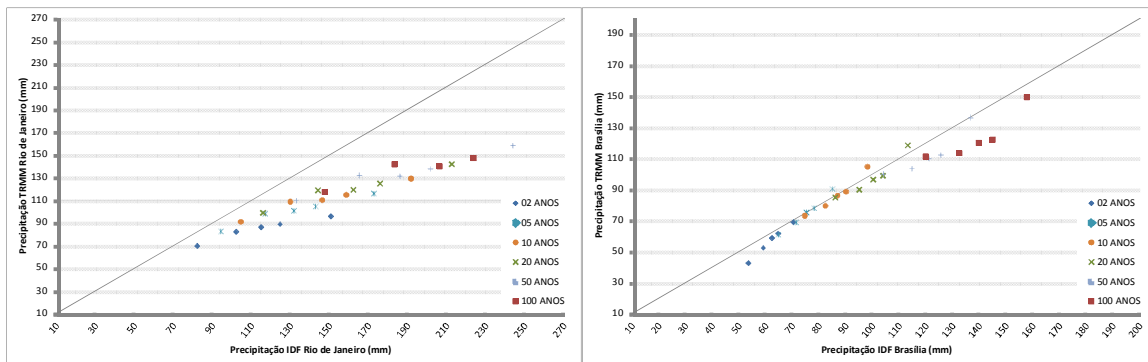


Figura 2. Comparação entre as precipitações estimadas pela IDF e as ajustadas com dados do TRMM, cidade do Rio de Janeiro (esquerda) e Brasília (direita)

Na figura 3 a seguir, pode-se visualizar o comportamento das precipitações geradas pela relação IDF estabelecida para Aracaju (FRAGOSO JR., 2004) e as precipitações estimadas pelo TRMM para a área compreendida entre as coordenadas $10,75^{\circ}$ e $11,0^{\circ}$ S, $37,25^{\circ}$ e $37,0^{\circ}$ W. Neste caso, houve subestimativa do TRMM em relação à IDF das precipitações para todas as durações com TR igual a 2 anos, bem como para as chuvas de 24 horas de duração para qualquer dos tempos de retorno considerados, cujas diferenças variaram entre -2 e -14%. Os demais valores de precipitação foram superestimados pelo TRMM, variando entre 8 e 25% a diferença entre as precipitações do TRMM e geradas pela IDF. Percebe-se, assim, uma leve tendência a superestimativa das precipitações ajustadas pelo TRMM, embora diversos pontos tenham ficado bastante próximos da reta que representa diferença zero.

No caso de Fortaleza, onde as precipitações estimadas pelo TRMM nas coordenadas $3,50^{\circ}$ e $3,75^{\circ}$ S, $38,75^{\circ}$ e $38,50^{\circ}$ W foram comparadas às estimadas pela IDF ajustada por Fragoso Jr. (2004) com base no estudo de Pfafstetter (1957), e são apresentadas no gráfico da Figura 3, percebe-se clara tendência a superestimativa do TRMM, com exceção da precipitação de 24h e TR igual a 2 anos, ponto que aparece abaixo da reta de diferença zero, configurando um valor subestimado pelo TRMM em comparação com a precipitação derivada da IDF.

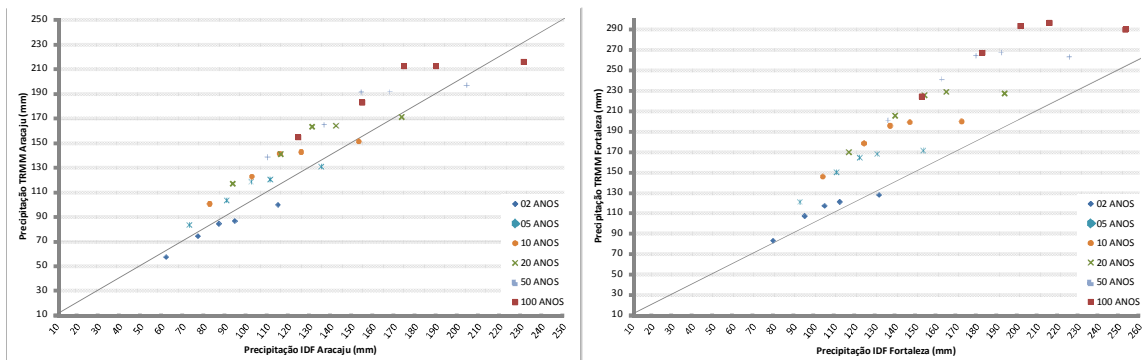


Figura 3. Comparação entre as precipitações estimadas pela IDF (Fragoso jr, 2004) e ajustadas com dados do TRMM: Aracaju (esquerda) e Fortaleza (direita)

As análises nas cidades localizadas na região norte do país não permitiram definir um padrão de tendência, visto que algumas, como Manaus (AM) dão indícios de superestimativa por parte do TRMM enquanto que outras, como Porto Velho (RO), indicam justamente o contrário. Maiores detalhes são apresentados nos parágrafos que seguem.

No caso de Manaus, cuja comparação entre as precipitações geradas pela IDF descrita em Fragoso Jr. (2004) e as estimadas pelo TRMM nas coordenadas $3,00^{\circ}$ e $3,25^{\circ}$ S, $60,25^{\circ}$ e $60,00^{\circ}$ W é

apresentada na figura 4, há ainda uma clara superestimativa do TRMM em relação às precipitações calculadas pela IDF.

No caso de Porto Velho, cuja comparação entre as precipitações estimadas pelo TRMM no *pixel* que envolve as coordenadas da sede municipal e as calculadas pela IDF de Pfafstetter ajustada por Fragoso Jr. (2004) pode ser vista na figura 4, percebe-se que os valores estão bem próximos à reta que indica inexistência de diferenças entre os valores de precipitação das duas fontes. No entanto, sobretudo para as precipitações de durações maiores (12 e 24 h), verifica-se uma tendência a subestimação do TRMM em comparação às precipitações da IDF.

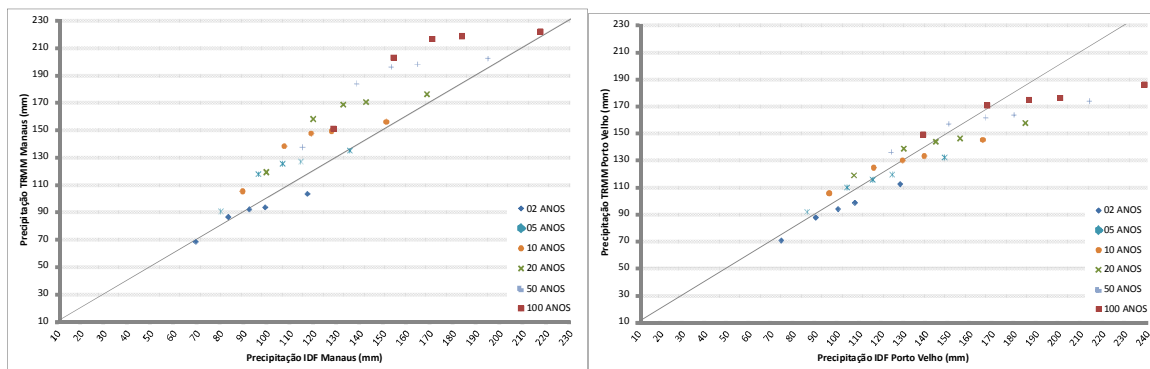


Figura 4. Comparação entre as precipitações estimadas pela IDF e as ajustadas com dados do TRMM em Manaus (esquerda) e Porto Velho (direita)

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Conclui-se que o objetivo de estabelecer curvas de intensidade-duração-frequência a partir de estimativas de precipitação por satélite sobre áreas urbanas brasileiras foi atingido. As estimativas de precipitação do satélite TRMM podem ser obtidas de forma gratuita e relativamente rápida na *internet*. O tratamento dos dados é similar ao de dados pluviográficos, e foi possível ajustar a distribuição estatística de Gumbel aos máximos anuais da série de dados.

Foi gerado um banco de dados com parâmetros de curvas IDF para todas as sedes municipais brasileiras, que se entende ser uma importante ferramenta para a elaboração de projetos, tais como condutos e bacias de retenção, e de planos de drenagem urbana. Vale salientar que a legislação em vigor exige a elaboração destes planos, que, no entanto, ainda se encontram longe de ser realidade na maior parte das cidades brasileiras, de forma que há grande demanda pelo tipo de informação disponibilizada. O banco de dados em formato *shapefile* está disponível para download a partir do sítio <http://www.ufsm.br/ecotecnologias>. Cabe salientar apenas que, na utilização deste banco de dados em projetos e planos futuros, os usuários devem ter em mente as limitações e incertezas inerentes às curvas IDF geradas, já mencionadas ao longo deste trabalho.

Com relação à avaliação da adequação das curvas geradas em comparação com relações IDF existentes (verdade de campo) constatou-se que, na maior parte dos casos, houve diferenças importantes entre as precipitações estimadas com base nas relações IDF estabelecidas com dados do TRMM e as estimadas a partir das relações IDF clássicas. Em especial no sul do Brasil, as relações IDF do TRMM superestimaram as intensidades máximas previstas pelas curvas consideradas verdade de campo. Este resultado é, até certo ponto, surpreendente, uma vez que a precipitação do TRMM é uma média ponderada de um *pixel* de cerca de 625 km², enquanto que as relações IDF clássicas são obtidas de dados pontuais. Esperava-se, portanto, que o TRMM amortecesse picos de intensidade mais alta, e eventualmente subestimasse a intensidade em comparação com os dados pluviográficos. Das relações IDF investigadas, houve superestimativa evidente em algumas cidades como Porto Alegre. Apenas na cidade do Rio de Janeiro pôde-se constatar que o TRMM evidentemente subestimou as chuvas máximas. Nas demais cidades, a IDF do TRMM aproximou-se

relativamente bem da verdade de campo. Embora seja recomendável uma investigação estatística mais rigorosa, de forma a verificar a significância das diferenças, tal resultado pode ser considerado satisfatório para a validação da metodologia proposta.

Possivelmente, uma parte das diferenças encontradas se deva ao fato de que cada conjunto de dados corresponde a um período distinto de medição. Enquanto as IDF dos pluviógrafos foram obtidas com medições da década de 1950 e 1960, as estimativas do TRMM só estão disponíveis de 1998 até o presente. No entanto, a maior parte das diferenças entre as curvas IDF do TRMM e de pluviógrafos devem-se provavelmente à própria estimativa de precipitação por satélite, que ainda carrega grande grau de incerteza quando analisada em pequenas áreas e curtos intervalos de tempo. Além disso, a pequena extensão das séries do TRMM não permitem a aplicação de testes estatísticos mais robustos para a verificação de tendenciosidade das estimativas. Por estas razões, as curvas geradas neste trabalho devem ser usadas com cautela.

Por outro lado, o fato de as relações IDF estabelecidas a partir de dados do TRMM, em geral, superestimarem as intensidades é positivo, uma vez que estão a favor da segurança de projetos com carência de dados.

Apesar das limitações da metodologia proposta neste trabalho, a tendência para o futuro é que os dados do TRMM utilizados aqui apresentem melhoras no que diz respeito a extensão das séries monitoradas, uma vez que o programa TRMM terá continuidade com o lançamento de uma constelação de satélites prevista para 2013, que, por sua vez, refletirá em incrementos na resolução das medições realizadas.

BIBLIOGRAFIA

BARRERA, D. F. 2005. *Precipitation estimation with the hydro-estimator technique: its validation against rain gage observations*. In: VII Congresso da IAHS, Foz do Iguaçu, 3-9 de abril de 2005.

BERTONI, J. C.; TUCCI, C. E. M. 1993. Precipitação. In: TUCCI, C. E. M. (Org.) *Hidrologia Ciência e Aplicação*. Porto Alegre: Editora da UFRGS. Cap. 5, p.177-241.

COLLISCHONN, B. 2006. *Uso de precipitação estimada pelo satélite TRMM em modelo hidrológico distribuído*. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Porto Alegre, RS. 174 f.

DAEE/CETESB. 1980. Departamento de Água e Energia Elétrica/Companhiade Tecnologia de Saneamento Ambiental. Drenagem urbana:Manual de projeto. São Paulo: DAEE-CETESB. 466p.

DISTRITO FEDERAL. 2009. *Plano Diretor de Drenagem Urbana do Distrito Federal: Relatório de Produto 4*. Volume 8. Tomo 01/07. Secretaria de Estado de Obras. Brasília: Concremat Engenharia. 104 p.

FRAGOSO JR., C. R. 2004. *Regionalização da Vazão Máxima Instantânea com base na Precipitação de Projeto*. ReRH: Revista Eletrônica de Recursos Hídricos, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, UFRGS. Volume 1 n.1 Jul/Dez 2004, p. 5-13. Porto Alegre, RS.

<http://daac.gsfc.nasa.gov/data/> Banco de dados da NASA.

LANNA, A. E. 1993. Elementos de estatística e probabilidades. In: TUCCI, C.E.M. (Org.) *Hidrologia Ciência e Aplicação*. Porto Alegre: Editora da UFRGS. Cap. 4, p. 79-176.

LEVIZZANI, V. 1998. *Intense rainfall monitoring from geostationary satellites*. 9ª Conf. Satellite Meteorology and Oceanography, AMS, 327-330.

PFAFSTETTER, O. 1957. *Chuvas Intensas no Brasil*. 1ª ed. Rio de Janeiro: DNOS. 419 p.