UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS

ANDREZZA MARQUES FERREIRA

Aplicação de ferramenta multicritério em um *software* de drenagem urbana para uso na previsão de eventos hidrológicos.

São Carlos

2019

ANDREZZA MARQUES FERREIRA

Aplicação de ferramenta multicritério em um *software* de drenagem urbana para uso na previsão de eventos hidrológicos.

Tese apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, como requisito para a obtenção do Título de Doutor em Ciências da Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Cristiano Poleto.

São Carlos 2019

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL
DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU
ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE
CITADA A FONTE.

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Prof. Dr. Sérgio Rodrigues
Fontes da EESC/USP

F383a Ferreira, Andrezza Marques
 Aplicação de ferramenta multicritério em um software de
 drenagem urbana para uso na previsão de eventos
 hidrológicos / Andrezza Marques Ferreira; orientador
 Cristiano Poletto. -- São Carlos, 2019.

 Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação e Área de
 Concentração em Ciências da Engenharia Ambiental
 -- Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de
 São Paulo, 2019.

 1. Ferramenta Monte Carlo. 2. SWMM. 3.
 Eventos hidrológicos. 4. Gestão de risco. I.
 Título.

Elaborado por Elena Luzia Palloni Gonçalves – CRB 8/4464

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidata: Engenheira **ANDREZZA MARQUES FERREIRA**

Título da tese: "Aplicação de ferramenta multicritério em um software de drenagem urbana para uso na previsão de eventos hidrológicos".

Data da defesa: 08/04/2019

Comissão Julgadora:

Prof. Dr. **Cristiano Poleto**
(Orientador)
(Universidade Federal do Rio Grande do Sul/UFRGS)

Resultado:

Aprovado

Dr. **Tulius Dias Nery**
(Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais/CEMADEN)

Aprovado

Dra. **Graziela Balda Scofield**
(Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais/CEMADEN)

Aprovado

Dr. **Renato Billia de Miranda**
(Anhanguera Educacional)

Aprovado

Dr. **Felippe Fernandes**
(Universidade Federal do Rio Grande do Sul/UFRGS)

Aprovado

Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Ciências da Engenharia Ambiental:
Prof. Associado **Frederico Fabio Mauad**

Presidente da Comissão de Pós-Graduação:
Prof. Titular **Murilo Araujo Romero**

*Dedico este trabalho à minha
família pela compreensão, carinho e
apoio incansável.*

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, o Professor Cristiano Poletto pelo tempo e dedicação dispensados em minha orientação.

Ao Leonardo Assis e Patrícia Diniz pelo apoio e incentivo no início dessa jornada. Aos amigos do Codau, por onde iniciei essa caminhada e que sem o apoio e ajuda esse trabalho não seria possível, em especial ao amigo Rodrigo Pessoa pelo auxílio prestado para sanar todas as dúvidas.

À todos colegas do Cemaden, pelo tempo dispensado na discussão desse trabalho, pelos conselhos ao longo destes anos, em especial aos amigos da Sala de Situação que tiveram a paciência para me ouvir, a gentileza de me ajudarem e forneceram acima de tudo o seu tempo e disposição, em especial à Kelen, Regina, Claudia, Carla, Carol, Suelen, Diego, Saulo, Jorge, Juliano, Gisele, Dorinha, Felipe, Eliana e o João Lino.

Ao Rodrigo Stabile, a Vivi, a Vanessa, a Ana Carolina Paiva e o Rodrigo Conceição e pela ajuda ao longo desse trabalho.

Ao Eduardo Pereira Somoza pela ajuda imprescindível para o desenvolvimento da ferramenta deste trabalho e em especial a Regla. Aos dois, muito obrigada pela atenção, carinho e por me receberem em sua casa para que o trabalho pudesse ser desenvolvido.

À minha família, minha mãe Heloisa Helena, meu pai Sebastião, aos meus irmãos Anderson e Merylin, aos meus cunhados Roberta e Lucas pelo apoio e ajuda ao longo dos últimos anos e em especial aos sobrinhos Cecília, Olívia e Gabriel que são capazes de renovarem as minhas energias com os gestos mais simples.

*“Do rio que tudo arrasta se diz que
é violento, mas ninguém diz
violentas as margens que o
comprimem”*

Bertolt Brecht

RESUMO

FERREIRA, A. M. **Aplicação de uma ferramenta multicritério em um *software* de drenagem urbana para uso na previsão de eventos hidrológicos.** 2019. 239 f. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 2019.

Os eventos hidrológicos se tornaram recorrentes nos últimos anos no Brasil. Diversos elementos contribuem para o aumento da frequência destes eventos nas áreas urbanas, entre eles se destaca o uso e ocupação do solo inadequados, que tornam as cidades brasileiras cada vez mais vulneráveis, acarretando prejuízos a população, chegando a vítimas fatais em alguns casos. A gestão de risco relacionada aos desastres naturais muita das vezes se restringe ao uso do monitoramento da chuva como elemento deflagrador da emissão de um alerta de risco e deixa de considerar o sistema de drenagem implementado no município como um elemento que fomenta tais eventos. Com intuito de auxiliar na tomada de decisão dos gestores, este trabalho avaliou a estimativa de precipitação do produto Merge (Cptec/INPE) e o comparou com as estações do INMET em quatorze municípios brasileiros contidos na área de estudo proposta. Além disso, também desenvolveu a ferramenta Monte Carlo que estima valores de precipitação, em função de dados de precipitação do produto Merge em conjunto com fatores condicionantes para as áreas Alfa e Beta do estudo, finalizando com a geração de um arquivo para simulação hidráulica no *software* livre SWMM. As análises dos resultados obtidos foram avaliadas utilizando o Erro médio (EM) e a Raiz do erro médio quadrático (REMQ) para o período de 21 novembro a 1º de dezembro de 2017. Os resultados observados apontaram para variações entre o produto Merge e as estações do INMET que podem ter sido ocasionados pela diferença espacial e temporal da varredura do satélite em relação ao acumulado do pluviômetro. A área Beta apresentou melhores resultados do que a área Alfa, sendo este fato explicado pela proximidade com a estação Uberaba (A5568) e pela amostra de valores estimados de precipitação serem mais representativos para o evento estudado do que para a área Alfa para o evento estudado. Em relação a simulação hidráulica realizada na bacia hidrográfica do córrego das Lages, os resultados obtidos apresentaram uma correlação melhor para a precipitação estimados pela área Beta, com destaque para os nós localizados no córrego das Bicas e no córrego das Lages na região próxima a junção destes dois afluentes que atingiram a cota de transbordamento de referência do estudo. Portanto, a ferramenta computacional Monte Carlo, associada ao *software* SWMM mostrou-se satisfatória e possível de ser utilizada para auxiliar os gestores da tomada de decisão de envio de alertas para áreas de risco hidrológico.

Palavras-chave: Ferramenta Monte Carlo. SWMM. Eventos hidrológicos. Gestão de risco.

ABSTRACT

FERREIRA, A. M. **Application of multicriteria tool in urban drainage *software* for use in predicting hydrological events.** 2019. 239 p. Thesis (Ph.D.) – São Carlos School of Engineering, University of São Paulo. São Carlos, 2019.

Hydrological events have become recurrent in recent years in Brazil. Several elements contribute to increasing the frequency of these events in urban areas, including inadequate land use and occupation, which render Brazilian cities increasingly vulnerable, resulting in losses to the population, leading to some cases of fatalities. Risk management related to natural disasters often restrict itself to the use of atmospheric monitoring as a triggering element for the issuance of a risk alert and fails to consider the drainage system implemented in the municipality as an element that encourages such events. In order to assist managers in decision making, this work evaluated the precipitation estimation of the Merge product (Cptec / INPE) and compared it with the INMET stations in fourteen Brazilian municipalities within the proposed study area. In addition, it also developed the Monte Carlo tool that estimates precipitation values as a function of precipitation data of the Merge product together with conditioning factors for the Alpha and Beta areas of the study, ending with the generation of a file for hydraulic simulation in the *software* free SWMM. The analysis of the obtained results was evaluated using the Mean Error (EM) and Root Mean Square Error (REMQ) for the period from November 21 to December 1, 2017. The observed results pointed to variations between the Merge product and the seasons of the INMET that may have been caused by the different spatial and temporal of the satellite scan in relation to the accumulated rain gauge. A Beta area has a result that is an Alpha area, a fact explained by the proximity to Uberaba station (A5568) and by the sample of estimated values of the more representative attraction for the studied event than for an Alpha area for the event studied. In relation to the hydraulic simulation performed in the Lages stream water catchment area, the results obtained presented a better the correlation for the precipitation estimated by the Beta area, especially the nodes located in the Bicas stream and in the Lages stream in the region near the junction of these two tributaries that reached the reference overflow the quota of the study. Therefore, the Monte Carlo computational tool, associated to the SWMM *software*, was satisfactory and possible to be used to help decision-makers to send alerts to hydrological risk areas.

Keywords: Monte Carlo tool. SWMM. Hydrological events. Risk management.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Sistema mundial de observação meteorológica.....	30
Figura 2- Disposição dos instrumentos de medição da precipitação em função dos tipos de eventos..	35
Figura 3- Cenários de vazão para Porto Velho no dia 10 de abril de 2018.....	40
Figura 4- Percentuais dos registros dos Eventos Naturais e Tecnológicos do EM-DAT (2016) de 1900 a 2015.....	42
Figura 5- Percentuais dos registros dos Eventos Naturais do EM-DAT (2016) de 1900 a 2015.....	43
Figura 6- Registros de ocorrência de Eventos Naturais do EM-DAT (2015) de 1900 a 2015.....	44
Figura 7- Número de eventos de inundação por Continentes a partir da década de 1950.....	45
Figura 8- Mapa de isoietas de precipitação acumulada em 96 horas (entre os dias 29/12/2009 e 01/01/2010).	47
Figura 9- Evento hidrológico no município de São Luiz do Paraitinga. (a) Igreja Matriz e (b) área central do município.....	48
Figura 10- Área urbana afetada pelo evento hidrológico no município de São Luiz do Paraitinga.....	48
Figura 11- Edificações atingidas na área urbana por enxurradas, entre os anos de 2009 até 2013.....	50
Figura 12- Municípios com registro de eventos de inundação nos últimos 5 anos em áreas naturalmente inundáveis e com ocupação regular.....	51
Figura 13- Eventos de Inundação (2006-2016) reconhecidos pelo governo federal.....	52
Figura 14- Eventos de Enxurrada (2006-2016) reconhecidos pelo governo federal.....	53
Figura 15- Número de planos relacionados ao risco hidrológicos por municípios brasileiros.....	55
Figura 16- Fluxos das águas pluviais e o ambiente urbano.....	57
Figura 17- Perdas causadas por inundações	61
Figura 18- Escoamento Uniforme	69
Figura 19- Relação entre os módulos estruturais do SWMM.	74
Figura 20- Visão conceitual de escoamento superficial.....	76
Figura 21- Área urbana do município de Uberaba, com destaque para a BH do córrego das Lages e também as áreas identificadas no Plano Municipal de Saneamento Básico relacionadas ao processo de Inundação.	92
Figura 22- Córrego das Lages na década de 1910.....	93
Figura 23- Canalização do Córrego das Lages em 1938.....	94
Figura 24 -Ocupação Urbana no entorno do Córrego Capão da Igreja (1970).	94
Figura 25- Fechamento do canal do córrego das Lages	95
Figura 26- Sobreposição dos limites de ocupação na bacia do córrego das Lages	96
Figura 27- Enchente na Av. Santos Dumont com a Rua São Sebastião em 1980.....	97
Figura 28- Enxurrada na Av. Leopoldino de Oliveira em 18/11/1996.....	97
Figura 29- Enxurrada no centro de Uberaba/MG em 2002.....	98
Figura 30- Temporal surpreende população, inunda vias e imóveis, e arrasta veículos em Uberaba em 27/11/2017.....	98
Figura 31- Obras de ampliação do canal do córrego das Lages em 2012.	99
Figura 32 - Córregos e tributários da Bacia Hidrográfica do Córrego das Lages	100
Figura 33- Cobertura dos radares no entorno do município de Uberaba (MG).	102
Figura 34- Distribuição dos pixels de precipitação do produto MERGE às 00h GMT do dia 28/11/2017.....	109

Figura 35- Distribuição da precipitação na estação do INMET em Uberaba.....	111
Figura 36- Informações necessárias para a simulação de eventos hidrológicos com o uso de satélites.	114
Figura 37 - Cotas utilizadas no estudo.	119
Figura 38 – Nós com cotas estimada do evento hidrológico.....	120
Figura 39- Enxurrada na Avenida Santos Dumont e o ponto de referência com a altura que a água atingiu no dia 28/11/2017 no nó B3.	121
Figura 40- Enxurrada na Avenida Leopoldino de Oliveira e o ponto de referência com a altura que a água atingiu no dia 28/11/2017 no nó 1481.	121
Figura 41- Localização das áreas Alfa e Beta, das estações e dos pixels das estações do INMET.....	124
Figura 42- Ilustração das informações contidas no arquivo binário do MERGE (CPTEC/INPE).....	125
Figura 43- Área Alfa e as sub- áreas	126
Figura 44- Área Beta e as sub- áreas	127
Figura 45- Janela de comandos da ferramenta Monte Carlo	129
Figura 46- Processos realizados no estudo.....	129
Figura 47- Precipitação observada na estação do INMET e estimada no pixel de Sacramento no dia 21/11/2017.....	130
Figura 48- Precipitação observada na estação do INMET e estimada no pixel de São Sebastião do Paraíso no dia 21/11/2017.	131
Figura 49 - Precipitação observada na estação do INMET e estimada no pixel de Uberaba no dia 21/11/2017.....	131
Figura 50- Precipitação observada na estação do INMET e estimada no pixel de São Sebastião do Paraíso no dia 25/11/2017.	132
Figura 51- Precipitação observada na estação do INMET e estimada no pixel de Campina Verde no dia 26/11/2017.....	132
Figura 52- Precipitação observada na estação do INMET e estimada no pixel de Ituverava no dia 26/11/2017.....	133
Figura 53- Precipitação observada na estação do INMET e estimada no pixel de Sacramento no dia 26/11/2017.....	133
Figura 54- Precipitação observada na estação do INMET e estimada no pixel de Uberaba no dia 26/11/2017.....	134
Figura 55- Precipitação observada na estação do INMET e estimada no pixel de Campina Verde no dia 27/11/2017.....	134
Figura 56- Precipitação observada na estação do INMET e estimada no pixel de Uberaba no dia 27/11/2017.....	135
Figura 57- Precipitação observada na estação do INMET e estimada no pixel de Ituverava no dia 28/11/2017.....	135
Figura 58- Precipitação observada na estação do INMET e estimada no pixel de Uberaba no dia 28/11/2017.....	136
Figura 59- Precipitação observada na estação do INMET e estimada no pixel de Ituverava no dia 29/11/2017.....	136
Figura 60- Precipitação observada na estação do INMET e estimada no pixel de Uberaba no dia 29/11/2017.....	137
Figura 61- Precipitação observada na estação do INMET e estimada no pixel de Campina Verde no dia 30/11/2017.....	137

Figura 62- Precipitação observada na estação do INMET e estimada no pixel de Ituverava no dia 30/11/2017.....	138
Figura 63- Precipitação observada na estação do INMET e estimada no pixel de Sacramento no dia 30/11/2017.....	138
Figura 64- Precipitação observada na estação do INMET e estimada no pixel de São Sebastião do Paraíso no dia 30/11/2017.	139
Figura 65- Precipitação observada na estação do INMET e estimada no pixel de Barretos no dia 01/12/2017.....	139
Figura 66- Precipitação observada na estação do INMET e estimada no pixel de Campina Verde no dia 01/12/2017.....	140
Figura 67- Precipitação observada na estação do INMET e estimada no pixel de Ituiutaba no dia 01/12/2017.....	140
Figura 68- Precipitação observada na estação do INMET e estimada no pixel de Ituverava no dia 01/12/2017.....	141
Figura 69- Precipitação observada na estação do INMET e estimada no pixel de Sacramento no dia 01/12/2017.....	141
Figura 70- Precipitação observada na estação do INMET e estimada no pixel de Uberaba no dia 01/12/2017.....	142
Figura 71- Erro Médio entre os dados das estações do INMET e o produto Merge (CPTEC-INPE).	143
Figura 72- Raiz do Erro Médio Quadrático entre os dados das estações do INMET e o produto Merge (CPTEC-INPE).	145
Figura 73- Valores de precipitação obtidos na ferramenta Monte Carlo para a área Alfa.	148
Figura 74- Valores de precipitação obtidos na ferramenta Monte Carlo para a área Beta.	149
Figura 75- Erro Médio entre os resultados de cada uma das condições e os dados da estação do INMET –Uberaba A568.....	150
Figura 76- Raiz do Erro Médio Quadrático entre os resultados de cada uma das condições e os dados da estação do INMET –Uberaba A568.	151
Figura 77- Comparação dos valores de precipitação estimados nas áreas Alfa e Beta	152
Figura 78- Nós que compõem a áreas de estudo.....	154
Figura 79- (a) Mapa hipsométrico construído a partir do MDE ASTER; (b) Mapa de declividade; (c) Mapa com as médias de declividade em cada área de drenagem.	155
Figura 80- Percentual de áreas impermeáveis nas sub - bacias de drenagem do córrego das Lages ..	156
Figura 81- Comparação entre os resultados obtidos para os nós nas áreas de estudo para a Equação 33 (a) e para a Equação 34(b) para do dia 27 de novembro de 2017 às 21 horas (UTC).....	158
Figura 82- Comparação entre os resultados obtidos para os nós nas áreas de estudo para a Equação 33 (a) e para a Equação 34(b) para do dia 27 de novembro de 2017 às 22 horas (UTC).....	159
Figura 83- Comparação entre os resultados obtidos para os nós nas áreas de estudo para a Equação 33 (a) e para a Equação 34(b) para do dia 27 de novembro de 2017 às 23 horas (UTC).....	159
Figura 84- Comparação entre os resultados obtidos para os nós nas áreas de estudo para a Equação 33 (a) e para a Equação 34(b) para do dia 28 de novembro de 2017 às 00 horas (UTC).....	159
Figura 85- Comparação entre os resultados obtidos para os nós nas áreas de estudo para a Equação 33 (a) e para a Equação 34(b) para do dia 28 de novembro de 2017 às 01 horas (UTC).....	160
Figura 86- Comparação entre os resultados obtidos para os nós nas áreas de estudo para a Equação 33 (a) e para a Equação 34(b) para do dia 28 de novembro de 2017 às 02 horas (UTC).....	160
Figura 87- Comparação entre os resultados obtidos para os nós nas áreas de estudo para a Equação 33 (a) e para a Equação 34(b) para do dia 28 de novembro de 2017 às 03 horas (UTC).....	160

Figura 88- Comparação entre os resultados obtidos para os nós nas áreas de estudo para a Equação 33 (a) e para a Equação 34(b) para do dia 28 de novembro de 2017 às 04 horas (UTC).....	161
Figura 89- Comparação entre os resultados obtidos para os nós nas áreas de estudo para a Equação 33 (a) e para a Equação 34(b) para do dia 28 de novembro de 2017 às 05 horas (UTC).....	161
Figura 90- Cota de transbordamento da Avenida Santos Dummont no ponto de calibração da margem esquerda.....	162
Figura 91- Cota de transbordamento da Avenida Santos Dummont no ponto de calibração da margem direita.....	163
Figura 92- Cota de transbordamento da avenida Leopoldino de Oliveira no ponto de calibração da margem direita.	163
Figura 93- Cota de transbordamento da avenida Leopoldino de Oliveira no ponto de calibração da margem esquerda.	164
Figura 94- Cota de transbordamento da Avenida Santos Dummont no ponto de calibração da margem esquerda.....	165
Figura 95- Cota de transbordamento da Avenida Santos Dummont no ponto de calibração da margem direita.....	165
Figura 96- Cota de transbordamento da avenida Leopoldino de Oliveira no ponto de calibração da margem direita.	166
Figura 97- Cota de transbordamento da avenida Leopoldino de Oliveira no ponto de calibração da margem esquerda.	167
Figura 98– Localização dos nós analisados no estudo.	168
Figura 99 – Nó B1 margem esquerda da Avenida Santos Dumont.....	169
Figura 100 – Nó B2 margem direita da Avenida Santos Dumont.....	169
Figura 101 – Nó 1607 margem esquerda da Avenida Santos Dumont.	170
Figura 102 – Nó 1379 margem direita da Avenida Santos Dumont.	170
Figura 103 – Nó Co1 localizado na Avenida Doutor Fidelis Reis.	171
Figura 104 – Nó Co2 localizado na Avenida Doutor Fidelis Reis, próximo à rua Leopoldino de Oliveira.....	171
Figura 105– Nó CI2 localizado na margem esquerda da avenida Guilherme Ferreira.	172
Figura 106– Nó CI3 localizado na margem direita da avenida Guilherme Ferreira.	172
Figura 107– Nó *3 localizado na margem esquerda do córrego das Lages na avenida Leopoldino de Oliveira, após o córrego das Bicas.	173
Figura 108– Nó *4 localizado na margem direita do córrego das Lages na avenida Leopoldino de Oliveira, após a avenida Santos Dumont.....	173
Figura 109– Nó 170 referente a junção do córrego das Bicas margem direita com a margem esquerda do córrego das Lages na avenida Leopoldino de Oliveira.	174
Figura 110– Nó *5 localizado na margem esquerda do córrego das Lages na avenida Leopoldino de Oliveira, após a avenida Fidelis Reis.	175
Figura 111– Nó *6 localizado na margem direita do córrego das Lages na avenida Leopoldino de Oliveira, após a avenida Fidelis Reis.	175
Figura 112– Nó *7 localizado na margem esquerda da avenida Leopoldino de Oliveira após o córrego Capão da Igreja.	176
Figura 113– Nó *8 localizado na margem direita da avenida Leopoldino de Oliveira após o córrego Capão da Igreja	176

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Principais bandas e frequências utilizadas para fins meteorológicos e de controle de tráfego aéreo.	32
Tabela 2- Parcelas do espectro	36
Tabela 3- Danos humanos associados às enxurradas por região (período de 1991 a 2012).....	49
Tabela 4- Expansão Urbana de Uberaba (MG) -1822 a 2000.	96
Tabela 5 - Identificação dos córregos e tributários da bacia hidrográfica do Córrego das Lages.	101
Tabela 6 – Características das estações automáticas do INMET utilizadas no estudo.....	110
Tabela 7- Classes Hidrológicas dos Solos pelo NRCS (National Resources Conservation Service) .	116
Tabela 8- Curva número do Soil Conservation Service – SCS	117
Tabela 9- Valores utilizados para caracterizar o armazenamento em depressões	117
Tabela 10- Pontos utilizados para verificação da capacidade do sistema de drenagem.	122
Tabela 11 – Características das estações automáticas do INMET utilizadas no estudo.....	125
Tabela 12- Valores adotados para os fatores de multiplicação em cada um dos testes realizados	127
Tabela 13- Valores de precipitação estimados obtidos pela ferramenta Monte Carlo para a Condição 1.	146
Tabela 14- Valores de precipitação estimados obtidos pela ferramenta Monte Carlo para a Condição 2.	147
Tabela 15- Valores de precipitação estimados obtidos pela ferramenta Monte Carlo para a Condição 3.	147
Tabela 16- Valores de precipitação estimados obtidos pela ferramenta Monte Carlo para a Condição 4.	147
Tabela 17- Valores de precipitação estimados obtidos pela ferramenta Monte Carlo para a Condição 5.	148

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AI – Área Impermeável

ANA – Agência Nacional de Águas

APU – Arquivo Público de Uberaba

BID – Banco Interamericano de Desenvolvimento

BMP – Best Management Practices (Melhores Práticas de Gestão)

Cemaden – Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais

CERES – Sensor de Energia Radiante de Nuvem e Terra

Cobrade – Classificação e Codificação Brasileira de Desastres

CODAR – Codificação de Desastres, Ameaças e Riscos

CODAU – Centro Operacional de Desenvolvimento e Saneamento de Uberaba

CONPDEC – Conselho Nacional e Proteção e Defesa Civil

Cptec – Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos

CN – Curva Número

CRED – Centro para Pesquisa sobre Epidemiologia de Desastres

DPR – Radar de Precipitação de Duplo comprimento de Onda

ECMWF – European Centre for Medium Range Weather Forecast (Centro Europeu de Previsão de Tempo Médio)

EM – Erro Médio

EM-DAT – Banco de Dados Internacional de Desastres

ENS – Ensemble Prediction System

EPA – United States Environmental Protection Agency

Funceme – Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos

GD8 – Bacia do Baixo Rio Grande

GEFS – Global Ensemble Forecast System

GENS – GFS Global Ensemble

GLOFAS – Global Flood Awareness System

GPM – Global Precipitation Measurement

GUI – Interface Gráfica do Usuário

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IMP – Integrated Management Practices (Práticas de Gerenciamento Integradas)

INMERG – Integrated Multisatellite Retrievals

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia
INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IR – Infra- vermelho
JAXA – Japan Aerospace Exploration Agency
LID – Low Impact Development (Desenvolvimento de Baixo Impacto)
LIS – Sensor de Descargas Elétricas
MC – Monte Carlo
MCT – Ministério da Ciência e Tecnologia
MDE – Modelo Digital de Elevação
MDE – Modelo Digital de Elevação
NASA – National Aeronautics and Space Administration
NOAA – National Oceanic and Atmospheric Administration
NRCS – National Resources Conservation Service
OMM – Organização Mundial de Meteorologia
OMS – Organização Mundial de Saúde
PCD – Plataforma Automática de Coleta de Dados
PD – Plano Diretor
PMSB – Plano Municipal de Saneamento Básico
PMTCRH – Programa de Monitoramento de Tempo, Clima e Recursos Hídricos
PMU – Prefeitura Municipal de Uberaba
PNPDEC – Política Nacional de Proteção e Defesa Civil
PR – Radar de Precipitação
RADAR – Radio Detection And Ranging (Detecção e Telemetria por Rádio)
REMQ – Raiz do Erro Médio Quadrático
RMSP – Região Metropolitana de São Paulo
SCS – Soil Conservation Service
SEDEC- Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil
SINPDEC – Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil
SUDS – Sustainable Urban Design System (Sistema de Design Urbano Sustentável)
SWMM – Storm Water Management Model
SYNOP – Surface Synoptic Observation
S2ID – Sistema Integrado de Informações sobre Desastres
TMI – Micro-ondas
TR – Tempo Retorno

TRMM – Tropical Rainfall Measuring Mission

TST – Temperatura da Superfície Terrestre

UTC – Tempo Universal Coordenado

VIRS – Sensor Visível e Infra- vermelho

UN-ISDR – Escritório das Nações Unidas para a Redução de Desastres

Width – Largura da Bacia Hidrográfica

WRE – Water Resource Engineers

WSUD – Water Sensitive Urban Design (Projeto Urbano Sensível à Água)

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	24
2	OBJETIVOS	27
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	28
3.1	Precipitação	28
3.2	Forma pontual	31
3.3	Forma distribuída	32
3.3.1	Radar meteorológico	32
3.3.2	Satélites meteorológicos.....	34
3.4	Uso de satélites meteorológicos para monitoramento de Eventos Naturais	39
3.5	Da necessidade de monitoramento dos Eventos Naturais	41
3.6	Eventos naturais no Brasil.....	46
3.7	Eventos Hidrológicos- Definições adotadas.....	56
3.8	Drenagem Urbana como elemento que influência nos Eventos Hidrológicos	57
3.9	Elementos que compõem o sistema de drenagem urbana	62
3.10	Uso de ferramentas meteorológicas para o envio de alertas.....	63
3.11	Hidráulica em condutos livres.....	67
3.11.1	Escoamento de condutos livres fechados	68
3.11.2	Ferramentas para modelagem relacionadas à hidráulica de condutos livres	71
3.12	SWMM.....	73
3.12.1	Escoamento Superficial.....	75
3.12.2	Infiltração	76
3.12.3	Transporte hidráulico	77
3.12.3.1	Fluxo em Regime Uniforme.....	78
3.12.3.2	Modelo de Onda Cinemática.....	79
3.12.3.3	Modelo da Onda Dinâmica.....	79
3.12.4	Equações utilizadas pelo SWMM para o bloco Runoff e EXTRAN	80
3.12.4.1	Estudos de drenagem urbana usando o SWMM.....	84
3.13	Análise de sensibilidade.	85
3.13.1	Análise de sensibilidade de elementos do SWMM	86
3.14	Método Monte Carlo	87
4	ÁREA DE ESTUDO.....	90
4.1	Urbanização da Bacia do Córrego das Lages.....	93

4.2	Canal do Córrego das Lages.....	99
4.3	Dados de precipitação e fluviometria na bacia do córrego das Lages.....	101
5	MATERIAL E MÉTODOS	103
5.1	Delimitação das áreas Alfa e Beta.....	104
5.2	Desenvolvimento da ferramenta Monte Carlo em Python	105
5.2.1	Identificação dos pixels	105
5.2.2	Sub - áreas e fator de multiplicação	106
5.2.3	Ferramenta Monte Carlo	107
5.3	Dados Meteorológicos.....	108
5.3.1	Evento de precipitação utilizados na calibração e na simulação	111
5.4	Comparação entre os valores de precipitação observados nas estações do INMET e os valores de precipitação do pixel do produto Merge	112
5.5	Dados hidráulicos e dados de infiltração no solo	113
5.5.1	Declividade das Áreas de Drenagem.....	114
5.5.2	Determinação dos parâmetros da Sub- bacia.....	115
5.5.2.1	Dados de infiltração no solo.....	115
5.5.2.2	Valores para a largura do escoamento das sub - bacias (W)	118
5.6	Pontos de referências para análise do evento hidrológico a ser utilizado no SWMM	119
6	RESULTADOS E DISCUSSÃO	123
6.1	Delimitação das áreas Alfa e Beta.....	123
6.2	Identificação dos pixels dos dados de precipitação do MERGE.....	125
6.3	Dados meteorológicos	126
6.4	Delimitação das sub- áreas e fator de multiplicação	126
6.5	Ferramenta Monte Carlo	128
6.6	Análise das áreas com dados de precipitação do INMET e do produto Merge.....	130
6.7	Resultados dos Critérios da Ferramenta Monte Carlo.....	146
6.8	Características da área de estudo.....	153
6.8.1	Áreas de drenagem	153
6.8.2	Declividade das áreas de drenagem.....	154
6.8.3	Permeabilidade das sub - bacias	155
6.9	Calibração e simulação do SWMM.....	157
6.9.1	Resultado da Calibração do SWMM em função da largura do escoamento das sub – bacias.	157
6.9.2	Resultado da Calibração do SWMM.....	162
6.9.3	Resultado da simulação do SWMM.....	165

6.9.4	Resultado da simulação do SWMM para os demais pontos considerados no estudo.	168
7	CONCLUSÃO	179
8	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	180
9	REFERÊNCIA	181
	ANEXO I	203
	APÊNDICE A	207
	APÊNDICE B	219
	APÊNDICE C	228
	APÊNDICE D	232
	APÊNDICE E.....	236

1 INTRODUÇÃO

No Brasil, o saneamento básico engloba os itens referentes ao tratamento de água, esgotamento sanitário, limpeza e manejo dos resíduos sólidos e, por fim, drenagem e manejo das águas pluviais urbanas. Este último refere-se ao conjunto de atividades, infraestruturas e instalações operacionais de drenagem urbana de águas pluviais, de transporte, detenção ou retenção para o amortecimento de vazões de cheias e de tratamento e disposição final das águas pluviais drenadas nas áreas urbanas (BRASIL, 2007). No entanto, a elaboração e execução de projetos de drenagem urbana não está restrita apenas às águas pluviais, havendo uma integração do planejamento do sistema pluvial a um sistema fluvial natural já existente.

Historicamente, a interação destes dois sistemas vem sendo modificada constantemente em função dos princípios utilizados, como por exemplo, o princípio higienista que fomentou políticas públicas de canalização e de linearização dos cursos de água. Tais políticas alteraram a hidrologia das bacias hidrográficas urbanas, potencializando o pico do hidrograma unitário e intensificando processos como as inundações, enchentes e enxurradas, acarretando em recorrentes eventos hidrológicos que acarretam prejuízos à população e ao patrimônio. Ainda, a impermeabilização do solo como em edifícios, estradas e outras áreas pavimentadas reduzem a infiltração de água da chuva e aumentam o escoamento de águas pluviais, contribuindo também para a ocorrência dos processos hidrológicos extremos (JACOBSON, 2011).

Outro elemento a ser adicionado a esses fatos é o volume de chuva que o sistema suporta. Inicialmente, os sistemas de drenagem são projetados para um determinado tempo de retorno de chuva, mas com o incremento de vazão proveniente da expansão urbana, a capacidade do sistema de drenagem fica aquém do escoamento superficial, favorecendo processos de alagamentos e inundações, e podendo ainda ocasionar as enxurradas em função da intensidade da chuva e da declividade do terreno.

Dados da Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil (SEDEC) mostram que os extremos hidrológicos têm se tornado cada vez mais comum, destacando-se as enxurradas como o evento hidrológico mais frequente no país, especialmente no Rio Grande do Sul em que estes eventos representaram 69,3% dos casos nos anos de 2013 e 2014 (BRASIL, 2015).

Como solução para a minimização do pico do hidrograma unitário, muitos municípios acabam por instalarem mecanismos de retenção de água, como os reservatórios de retenção e as bacias subterrâneas. Ainda, recorrem à ampliação do sistema de macrodrenagem, ou instituem normativas que estabelecem mecanismos de gestão das águas pluviais nas áreas construídas dos municípios como as valas de infiltração, poços de infiltração e micro

reservatórios. A primeira alternativa tem como principal empecilho a necessidade de desapropriação de grandes áreas e o alto custo de indenização, assim como a implantação do sistema de macrodrenagem. As alternativas que visam a implantação de sistemas de infiltração em áreas particulares esbarram em problemas de fiscalização após a sua implantação e também na sensibilidade da população para a adoção destes mecanismos.

Considerando as dificuldades de alteração do ambiente urbano, outra alternativa para a minimização dos impactos ocasionados pelos eventos hidrológicos é a gestão de risco através da emissão de alertas à população. Neste sentido, os centros de monitoramento de riscos elaboram procedimentos operacionais para emitir alertas quando determinados limiares de risco são alcançados. Em centros relacionados aos alertas de risco hidrológico, observa-se a presença de instrumentos para a mensuração da precipitação associados aos instrumentos de precisão de nível e modelos hidráulicos ou hidrológicos visando à previsão dos processos de inundação e/ou enxurrada.

Neste contexto o presente estudo utilizou a ferramenta Monte Carlo que associou ao *software* livre SWMM, uma ferramenta que extrai de uma área previamente delimitada do campo amostral da estimativa de precipitação do produto Merge (Cptec/INPE) um valor de precipitação utilizando como critério o método não paramétrico do Monte Carlo. Ao final do processo é possível realizar uma nova análise do sistema de drenagem com isso auxiliar os responsáveis pela gestão de risco do município na tomada de decisão sobre a emissão ou não de alertas de risco hidrológico.

Justificativa

Os processos de inundações, enchentes e enxurradas ocorrem em função de eventos meteorológicos, sendo agravados pelo uso e ocupação do solo e a forma como são implantados os sistemas de drenagem urbana. O constante monitoramento deste sistema e a realização de ajustes visando a minimização de impactos sociais e econômicos torna-se uma tarefa de difícil execução, uma vez que o próprio processo de ocupação do solo é dinâmico e muitas vezes ocorre mais rapidamente que o ordenamento do solo.

O uso do *Storm Water Management Model* (SWMM), um modelo dinâmico de chuva-vazão, e a utilização de dados como topografia e sistema de drenagem, propiciam um mecanismo de análise dos processos relacionados aos eventos hidrológicos e de avaliação do sistema de drenagem urbano. Por ser tratar de um sistema dinâmico, o uso desta ferramenta

pode ser contínuo sendo possível o seu uso por órgãos relacionados à Defesa Civil, que visam em um curto espaço de tempo a remoção da população instalada em áreas de risco hidrológico.

Hipótese:

A presente tese está baseada na hipótese de que *softwares* hidráulicos utilizados para simular redes de drenagem, podem contribuir na identificação de pontos susceptíveis a inundação e enxurrada.

Acredita-se que o desenvolvimento de uma ferramenta a ser associada ao *software* SWMM para a simulação da precipitação sobre uma determinada bacia hidrográfica através de dados de precipitação estimados por satélite permitiria o reconhecimento da localização dos pontos em que ocorrem os eventos hidrológicos e isso auxiliaria na tomada de decisão por parte de órgãos ligados à gestão de desastres.

2 OBJETIVOS

O principal objetivo deste estudo foi realizar a previsão de eventos hidrológicos em bacias hidrográficas urbanas, a partir da associação de estimativa de precipitação por satélite em um software de simulação hidráulica. Para tal finalidade, foi realizado um estudo de caso na bacia hidrográfica do córrego das Lages, e propostos os seguintes objetivos específicos.

- Inserir em um *software* livre hidráulico uma ferramenta meteorológica viável;
- Criar uma rotina computacional para inserção automática dos dados meteorológicos no *software* de simulação hidráulica;
- Avaliar o sistema hidráulico simulado sob a perspectiva de possíveis eventos hidrológicos;
- Calibrar e validar o modelo a partir de evento histórico.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Os eventos hidrológicos ganham cada vez mais repercussão, sendo notório em determinadas regiões do Brasil que estes são repetitivos e com isso acarretam prejuízos constantes à população.

As áreas urbanizadas e impermeáveis são as mais susceptíveis a eventos hidrológicos e a identificação desses locais propensos a esses eventos podem auxiliar na tomada de decisão por partes dos gestores de forma a evitar danos materiais e a população.

A pressuposição de possíveis eventos hidrológicos requer um conjunto de informações que podem ser separadas em três grupos: meteorológico em que estão presentes os equipamentos disponíveis para medida da precipitação, hidráulico que caracteriza o sistema de drenagem e; modelagem que integra os dois anteriores e possibilita a geração de informação de possíveis eventos.

A revisão bibliográfica traz uma descrição dos mecanismos de medida da precipitação, destacando as vantagens e desvantagens dos métodos de medida da precipitação pontual e distribuída e sensoriamento remoto, a caracterização dos eventos hidrológicos no Brasil nos últimos anos e dos mecanismos de simulação da drenagem urbana, com destaque para o uso da ferramenta SWMM, além de destacar a necessidade da utilização de satélites meteorológicos nos mecanismos de avaliação dos eventos hidrológicos.

3.1 Precipitação

As precipitações atmosféricas representam, no ciclo hidrológico, o importante papel de elo de ligação entre os fenômenos meteorológicos propriamente ditos e os do escoamento superficial, de interesse maior para os engenheiros. Deriva daí, sobretudo, a importância do estudo das precipitações atmosféricas (GARCEZ, ALVAREZ, 1988).

A radiação proveniente do Sol é a fonte primária de energia do ciclo hidrológico, sendo responsável pelo abastecimento de energia para todos os fenômenos meteorológicos (GARCEZ, ALVAREZ, 1988; FERREIRA, 2006). Quando esta radiação entra em contato com a água ou gelo, a energia absorvida a transforma em vapor d'água. O ar umedecido e aquecido é mais leve e sobe até as camadas mais altas resfriando-se, processo esse denominado de convectivo, e, se o ar for úmido o bastante e for resfriado até o ponto de orvalho, é provável que aconteça a formação de vários tipos de nuvens (FERREIRA, 2006) e, conseqüentemente, a ocorrência de precipitação.

Devido a sua capacidade de produzir escoamento superficial, a chuva é o tipo de precipitação mais importante para a hidrologia e o principal dado de entrada em modelos hidrológicos chuva-vazão (BERTONI, TUCCI, 1993; JIMÉNEZ, COLLISCHONN, 2015). Definida como toda água proveniente do meio atmosférico que atinge a superfície terrestre (BERTONI, TUCCI, 1993), a chuva é o resultado final de uma série de eventos com escala de tempo e espaço de grande aleatoriedade (COLLISCHONN, TASSI, 2008).

Assim, a precipitação pode ser determinada por grandezas como: quantidade (altura pluviométrica), normalmente expressa em termos da espessura da camada d'água que se forma sobre uma área horizontal, plana, impermeável e sem evaporação; duração, ou o intervalo de tempo da chuva; intensidade, que representa a quantidade de água precipitada por unidade de tempo; frequência de probabilidade; e tempo de retorno, que é interpretado como o número médio de anos durante o qual se espera que a precipitação analisada seja igualada ou superada, sendo o inverso da frequência de probabilidade (GARCEZ, ALVAREZ, 1988; BERTONI, TUCCI, 1993; VAREJÃO SILVA, 2006).

Soma-se à observação das grandezas, a determinação do tipo de precipitação do ponto de vista hidrológico, segundo o qual ela pode ser classificada em: convectiva, orográfica e frontal ou ciclônica.

As chuvas convectivas caracterizam-se por, geralmente, ocorrerem em grande intensidade, pequena duração e restritas a áreas pequenas. Elas ocorrem quando há pouca circulação de massa de ar e o ar úmido é aquecido na vizinhança do solo, criando camadas de ar que se mantêm em equilíbrio instável que, quando perturbado, promove uma ascensão brusca de ar menos denso que atinge seu nível de condensação com a formação de nuvens e, muitas vezes, precipitação. Características das regiões equatoriais, onde os ventos são fracos e os movimentos de ar são essencialmente verticais, podem ocorrer também nas regiões temperadas no verão, formando tempestades violentas. Do ponto de vista da hidrologia, as precipitações associadas às chuvas convectivas podem provocar importantes inundações em pequenas bacias e frequentemente atingem as vazões críticas de dimensionamento das galerias de águas pluviais (GARCEZ, ALVAREZ, 1988).

As chuvas orográficas ocorrem quando o ar quente e úmido, oriundos do oceano encontram uma barreira montanhosa, elevam-se e se resfriam adiabaticamente, havendo condensação do vapor, formação de nuvens e ocorrência de chuvas. São chuvas de pequena intensidade e de grande duração que cobrem pequenas áreas. Quando os ventos conseguem ultrapassar a barreira montanhosa, do lado oposto projeta-se a sombra pluviométrica, dando

lugar a áreas secas ou semiáridas causadas pelo ar seco, já que a umidade foi descarregada na encosta oposta.

As precipitações frontais ou ciclônicas provêm da interação de massas de ar quentes e frias. Nas regiões de convergência da atmosfera, o ar mais quente e úmido é violentamente impulsionado para cima, resultando no seu resfriamento e na condensação do vapor de água, produzindo as chuvas. Essas precipitações podem vir acompanhadas de ventos fortes com circulação ciclônica. Os sistemas frontais são os fenômenos meteorológicos que mais influenciaram o tempo em nosso continente (FERREIRA, 2006) e, por atingirem grandes áreas e apresentarem longa duração, as chuvas resultantes desses sistemas são importantes para os fenômenos hidrológicos em grandes bacias hidrográficas (GARCEZ, ALVAREZ, 1988).

Devido à quantidade de grandezas associadas à precipitação, Toht *et al.* (2000) afirmam que ela é um dos elementos mais difíceis de se prever no ciclo hidrológico e cujas grandes incertezas afetam os modelos determinísticos e estocásticos. Tal fato também é evidenciado por Molion e Bernardo (2000) que citam que, a despeito da simplicidade de sua medida, a precipitação é uma das variáveis mais difíceis de serem observadas com acurácia, visto os erros instrumentais, de exposição e de localização.

Para mensurar a precipitação, faz-se necessário o uso de equipamentos como pluviômetros, pluviógrafos, radares e satélites meteorológicos (Figura 1). Os dois primeiros são considerados sensores pontuais enquanto os radares e satélites meteorológicos estimam a precipitação.

Figura 1- Sistema mundial de observação meteorológica

Fonte: Ferreira (2006).

3.2 Forma pontual

A pluviometria determina a quantidade de precipitação. Entre os equipamentos de medida pontual, os pluviômetros (ou udômetros) são um armazenador da precipitação para posterior medição, ou seja, as leituras são manuais e em intervalos de tempo fixos, enquanto os pluviógrafos (ou udógrafos) registram continuamente a quantidade de chuva, possibilitando a determinação da intensidade e da duração da precipitação (GARCEZ, ALVAREZ, 1988; BERTONI, TUCCI, 1993; VAREJÃO, SILVA, 2006).

Mesmo com a medida pontual da precipitação, ambos os métodos (pluviômetro e pluviógrafo) não estão isentos de erros inerentes ao equipamento ou fatores externos. Barth *et al.* (1987) citam que os erros podem ser atribuídos à qualidade da instalação, à capacidade ou capricho do operador, quando este se faz necessário, aos erros furtivos devido a ação do vento (BENETI, CALVETTI e PEREIRA FILHO, 2002), ou também às dificuldades inerentes à manutenção de redes densas de pluviômetros em regiões de difícil acesso (SOARES *et al.*, 2016).

A produção de dados pontuais, e não distribuídos, pela rede de coleta de dados pluviométricos (BARTH *et al.*, 1987; COLLISCHONN, 2006; CAMPOS, 2009; CALVETTI *et al.* 2005; SOARES *et al.*, 2016) influencia diretamente nos resultados dos estudos hidráulicos e hidrológicos, uma vez que diferentes métodos são utilizados para espacializar a precipitação, acarretando em erros nos valores estimados, especialmente em terrenos com topografia complexa (PEREIRA *et al.*, 2013; VARIKODEN; PREETHI; REVADEKAR, 2012; WAGNER *et al.*, 2012). Essas limitações propiciam a ocorrência de eventos em que a precipitação não é representada no equipamento ou então a ocorrência de eventos isolados sobre um pluviômetro e este dado ser espacializado sobre uma determinada região, influenciando na análise do escoamento superficial, do déficit hídrico e até no balanço de energia (PEREIRA *et al.*, 2013).

Uma vez que os dados pluviométricos podem apresentar baixo grau de confiabilidade em áreas extensas no Brasil, devido à distribuição dos mesmos (NÓBREGA, SOUZA, GALVÍNCIO, 2008; PEREIRA *et al.*, 2013), seria necessário para a minimização deste erro a implantação de uma densa rede de observação conforme destacam diversos autores (JOHNSON, 1986; BARTH *et al.*, 1987; COLLISCHONN, 2006; CAMPOS, 2009; PEREIRA *et al.*, 2013; SOARES *et al.*, 2016), todavia, o custo de instalação e manutenção seria alto (BERTONI e TUCCI, 1993; SOARES *et al.*, 2016).

3.3 Forma distribuída

Conforme dito anteriormente, a estimativa da precipitação de forma distribuída é realizada por radares e satélites, e a descrição do funcionamento destes equipamentos está a seguir.

3.3.1 Radar meteorológico

O Radar (RADIO Detection And Ranging) permite quantificar a chuva de forma quase contínua no tempo e no espaço, sendo caracterizado por ser um sistema eletromagnético para detecção e localização de objetos (PESSOA, 1993). O seu princípio de funcionamento é baseado na emissão de um pulso de energia eletromagnética na faixa de micro-ondas por um transmissor a partir de uma antena móvel em intervalos de tempo regulares. A energia emitida ao encontrar um objeto é parcialmente refletida, retornando ao aparelho pela mesma antena, sendo, porém, pela atuação de um comutador automático, encaminhado para um receptor. A intensidade e a posição espacial do alvo, tanto horizontal quanto vertical são obtidas pela medida da energia que retorna (PESSOA, 1993).

O alvo dos radares meteorológicos são os hidrometeoros de precipitação que são partículas de água, líquida ou sólida em queda ou em suspensão na atmosfera. As principais bandas e frequências estão descritas na Tabela 1 a seguir.

Tabela 1- Principais bandas e frequências utilizadas para fins meteorológicos e de controle de tráfego aéreo.

Banda	Frequência	Comprimento de onda	Principais Aplicações
L	1 – 2 GHz	30 – 15cm	Controle de tráfego aéreo
S	2 – 4 GHz	15 – 8cm	Rede operacional (precipitação)
C	4 – 8 GHz	8 – 4cm	Alerta local (precipitação)
X	8 – 12 GHz	4 – 2,5cm	Radar de bordo, física de nuvens

Fonte: Adaptado de Queiroz (2008).

Os radares, ao estimarem a distribuição espacial da chuva, substituem a necessidade de uma densa rede composta por sensores diretos de medição da precipitação (NOBREGA *et al.*, 2008; MARSHALL e PALMER, 1948).

Além de ser uma poderosa ferramenta para visualização da distribuição da chuva em uma determinada área, os radares podem prover medidas necessárias ao acompanhamento das

precipitações de forma contínua, espacial e temporalmente, ganhando destaque nos sistemas de alerta antecipado de inundação de pequenas bacias urbanas.

Silva, Pereira Filho e Hallak (2009) relatam a implantação de um radar na bacia hidrográfica do Alto Tietê (Região Metropolitana de São Paulo - RMSP). Segundo os autores, em virtude das enchentes na RMSP, estabeleceu-se em 1976 uma rede telemétrica com pluviômetros e linígrafos (BARROS e BRAGA, 1992) que não contemplava toda a RMSP. Em virtude disso, em 1998 foi instalado um radar meteorológico em Ponte Nova, que monitora a precipitação em um raio de alcance superior a 120 km, com resolução espaço-temporal equivalente a uma rede telemétrica com cerca de 1 pluviômetro a cada 2 km x 2 km possibilitando assim a análise da precipitação em diversas bacias hidrográficas, fato esse extremamente importante no auxílio dos estudos de extremos hidrológicos.

Segundo Soares (2014), os radares meteorológicos também apresentam limitações, pois dependem fortemente do comportamento das ondas eletromagnéticas na atmosfera. O autor cita que as ondas são influenciadas pelas mudanças na densidade atmosférica causadas por alterações na temperatura e pressão, além do conteúdo de vapor d'água; pelo espalhamento e absorção da energia eletromagnética pela atmosfera, tanto pela presença de partículas ou pela própria gota de chuva, a chamada atenuação atmosférica, que depende fortemente do comprimento de onda utilizado pelo radar meteorológico com respeito ao tamanho e composição do meio a ser escaneado.

Além disso, como nos equipamentos de mensuração direta, a topografia e outros obstáculos impedem a propagação livre das ondas (ANDRIEU *et al.*, 1997), como aviões, aves, insetos e partículas sólidas em suspensão (KAISER, 2006), diminuindo a área de cobertura do equipamento ou a sua localização em determinados pontos. Outros elementos limitadores incluem os efeitos ocasionados pela presença de granizo que podem ser interpretados como chuvas fortes (KRAJEWSKI, SMITH, 2002; KAISER, 2006) e o fato de que quanto menor o comprimento de onda, maior será a atenuação do feixe, possibilitando que alguma precipitação não seja detectada (SOARES, 2014).

Complementando as dificuldades na estimativa da precipitação através do uso do radar, Beneti, Calvetti e Pereira Filho (2002) e Calvetti *et al.* (2005) citam que as fontes de erro de medição de chuva com o radar meteorológico estão associadas à calibração eletrônica do equipamento, à equação de transformação da refletividade efetiva em taxa de precipitação (ou relação Z-R), ao efeito da curvatura da Terra e à zona de derretimento de cristais de gelo na nuvem. Austin (1987) apud Silva, Pereira Filho e Hallak (2009) concluíram que para cada tipo de situação sinótica, deve haver uma equação de transformação da refletividade medida (Z) em

taxa de precipitação (R). Conti (2002) descreve que em regiões com baixa densidade de estações o uso do radar se torna inviável devido à necessidade de calibração periódica com dados de estações pluviométricas.

Apesar dos erros das estimativas do radar e das medidas telemétricas, estas podem ser combinadas para diminuição de tais erros (PEREIRA FILHO e CRAWFORD, 1995), por meio de técnicas de análises objetivas estatísticas (SILVA, PEREIRA FILHO e HALLAK, 2009).

3.3.2 Satélites meteorológicos

Enquanto os radares podem abranger áreas maiores do que os pluviômetros, os satélites cobrem áreas maiores do que os radares e por isso se destacam para o monitoramento atmosférico. A estimativa de precipitação através deste instrumento tem sido amplamente utilizada nos modelos hidrológicos, particularmente em regiões com baixa densidade ou ausência de instrumentos de precipitação (EL BASTAWESY, AL HARBI, HABEEBULLAH, 2012) ou em regiões extensas, possibilitando uma representação espacial muito mais detalhada do que a medição tradicional com postos pluviométricos (FLEISCHMANN, *et al.* 2014).

A densidade da cobertura dos equipamentos de mensuração direta e radares para eventos de micro, meso e macro escala está ilustrada na Figura 2. Essa figura foi elaborada utilizando informações dos pluviômetros da rede da Agência Nacional de Águas (ANA), do Centro Integrado de Informações Agrometeorológicas (CIIAGRO), do Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (Cemaden), do Instituto Nacional De Ensino Avançado (INEA), do Instituto Nacional de Meteorologia do Brasil (INMET), do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), da Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI) e da rede de radares brasileiro existentes no ano de 2016.

A distribuição da densidade para cada um dos tipos de eventos corrobora a necessidade do uso de um instrumento que possa abranger todo o território brasileiro.

Figura 2- Disposição dos instrumentos de medição da precipitação em função dos tipos de eventos. Em que: a) Disposição dos instrumentos para eventos de micro e meso escala; b) Disposição dos instrumentos para eventos de macro escala.

Os satélites podem ser classificados em função do tipo de órbita que são diferenciados pela inclinação e do seu período de revolução (tempo de um giro completo em torno da Terra), o qual está diretamente relacionado com a sua altitude (FLORENZANO, 2008).

Em relação a resolução temporal, os satélites polares possuem uma resolução com capacidade de varredura de 1 a 2 vezes por dia, os estacionários a cada 30 minutos, com destaque para a constelação do GPM que possui uma resolução temporal horária (HUFFMAN *et al.*, 2018).

Araújo e Guetter (2007) comentam que os avanços no sensoriamento remoto relacionados à chuva por meio de satélites ambientais permitiram o aumento da disponibilidade e qualidade das estimativas de chuva por satélite que passaram da categoria de tema de pesquisa para a categoria de produto operacional, tendo como principais produtos a distribuição espacial e temporal da chuva em grandes bacias e regiões, amplamente usadas por serviços meteorológicos para o monitoramento e previsão de tempo e a previsão hidrológica em bacias monitoradas com redes esparsas.

A obtenção de informações meteorológicas através das imagens de satélite é possível uma vez que os modelos de estimativa da Temperatura da Superfície Terrestre (TST) fundamentam-se no princípio de que todo o corpo com temperatura acima do zero absoluto emite radiação eletromagnética (GUSSO, *et al.* 2007), princípio esse baseado na Lei da

Radiação de Planck, a qual descreve que a energia irradiada de um corpo negro, prevista na Lei de Stefan-Boltzmann, está distribuída em termos de comprimentos de onda no espectro eletromagnético (GUSSO, FONTANA, 2003).

A estimativa da precipitação por satélite é realizada a partir da interação das faixas de comprimento de onda correspondente ao infravermelho, micro-ondas e visível, descritos na Tabela 2 (JIMÉNEZ, COLLISCHONN, 2015; NASCIMENTO, 2008).

Tabela 2- Parcelas do espectro

Parcela do espectro	Intervalo de comprimento de onda	Frequência
Visível (VIS)	0,4 μm a 0,7 μm	1014 a 1015Hz
Infravermelho	0,7 μm a 1,0 mm	1012 a 1014Hz
Micro-ondas	1mm a 1m	108 a 1011Hz

Fonte: De Paula (2015).

Em geral, para obter estimativas de precipitação de uma determinada região por sensoriamento remoto, os dados de diferentes sensores são combinados através de algoritmos (JIMÉNEZ, COLLISCHONN, 2015), com destaque para a estimativa de precipitação que operam na região do espectro do infravermelho e das micro-ondas (NASCIMENTO, 2008).

As imagens obtidas por meio dos sensores infravermelhos são compostas de energia radiante provenientes da atmosfera, da superfície terrestre, ou da água, sendo esta energia do infravermelho convertida em temperatura, conhecida como temperatura de brilho, por meio da Lei de Stefan-Boltzmann (ARAÚJO, GUETTER, 2007).

A chuva pode ser estimada indiretamente por meio de sensores infravermelhos em função do brilho, uma vez que as baixas temperaturas de brilho indicam altos topos de nuvens, ou seja, nuvens de grande espessura e alta probabilidade de chuva.

Em relação a região das micro-ondas, muitos algoritmos de estimativa de precipitação por sensoriamento remoto utilizam dados de sensores de radiação na faixa das micro-ondas (10 a 150 GHz), uma vez que estas têm relação mais direta com a precipitação em função da emissão/absorção e dispersão, do que a temperatura do topo da nuvem (ARAÚJO e GUETTER, 2007; HOU *et al.*, 2008).

Os sensores de radiômetros passivos do imageador de micro-ondas respondem ao vapor de água, a água de nuvens e a intensidade de precipitação na atmosfera (PASSOW, 2010), a presença de gotas de chuva e partículas de gelo presentes nas nuvens, ou seja, evidências físicas mais diretas da precipitação.

Historicamente, em 1997 a *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) e a *Japan Aerospace Exploration Agency* (JAXA) lançaram o satélite *Tropical Rainfall Measuring Mission* (Missão de Medição de Precipitação Tropical- TRMM), capaz de obter dados pluviométricos nas regiões tropicais do planeta, por meio da utilização de micro-ondas e radar. O Radar de Precipitação (PR) do TRMM foi o primeiro radar espacial projetado para capturar uma estrutura mais abrangente de precipitação, fornecendo informação a respeito da estrutura tridimensional das chuvas sobre os trópicos e subtropicos (FRANCHITO *et al.*, 2009).

O TRMM carregou 5 instrumentos: um conjunto de 3 sensores de precipitação, sendo eles o Radar de Precipitação (PR), o de Micro-ondas (TMI) e o Sensor Visível e Infravermelho (VIRS) e 2 outros instrumentos, o Sensor de Energia Radiante de Nuvem e Terra (CERES) e o Sensor de Descargas elétricas (LIS) (NASA, 2017).

O PR teve grande importância para o desenvolvimento e aprimoramento de técnicas de estimativa de precipitação por satélite (KIDD, LEVIZZANI, 2011).

O TRMM ficou em operação até o ano de 2014, quando foi substituído pelos satélites de Medição Global da Precipitação (GPM), que é uma rede de oito satélites.

Conforme descrição disponibilizada pela NASA (2017), o algoritmo do GPM destina-se a intercalibrar, fundir e interpolar as estimativas de precipitação de micro-ondas de todos os satélites, juntamente com estimativas de satélite infravermelho (IR) calibradas por micro-ondas, análises de medidores de precipitação e potencialmente outros estimadores de precipitação em escalas de tempo e espaço para o TRMM e GPM em todo o mundo.

O GPM destaca-se por possuir um radar de precipitação de duplo comprimento de onda (DPR) a 13,6 e 35,5 GHz, que possui uma sensibilidade maior necessária para detectar chuva e neve tão baixas quanto 0,3 mm / h (HOU *et al.*, 2008).

O algoritmo combinado de Radar-Radiômetro GPM destaca duas funções: uma operacional e outra para fins acadêmicos. O primeiro item segundo a NASA (2017) é possível uma vez que o algoritmo fornece as estimativas mais precisas e de alta resolução da taxa de precipitação superficial e distribuições verticais de precipitação que podem ser alcançadas a partir de uma plataforma espacial e, portanto, é valioso para aplicações onde informações sobre a estrutura de tempestade instantânea são vitais.

Para o segundo item, a agência destaca a formação de um único conjunto de dados de referência contendo uma coleção global e representativa de estimativas de algoritmos combinados.

Além da importância desses produtos, a precipitação observada associada à precipitação estimada pelo satélite gera um produto denominado MERGE, sendo as informações sobre este produto estão disponibilizadas no trabalho realizado por Rozante *et al.* (2010).

Moura *et al.* (2010) destacam que os campos de precipitação do MERGE são gerados a partir da composição de dados do Surface Synoptic Observations (SYNOP) obtidos do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), da Plataforma automática de Coleta de Dados (PCD) do Sistema Brasileiro de Coleta de Dados via Satélite do INPE, e de pluviômetros convencionais fornecidos pelo Programa de Monitoramento de Tempo Clima e Recursos Hídricos (PMTCRH) do Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT), combinados com os dados de precipitação estimados por satélite do Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) (ROZANTE *et al.*, 2010).

Deste conjunto de informações, Rozante *et al.* (2010) destaca que é possível obter dois produtos, sendo um gerado a partir do TRMM- TMPA 3B42RT que se refere aos dados de estimativa de precipitação do *The Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) Multisatellite Precipitation Analysis* que está em processo de descontinuidade, mas que os dados históricos podem ser utilizados para a calibração do modelo. Neste modelo os produtos são gerados com latência de um mês e operação de 3 horas (denominado 3B42RT), com resolução temporal e horizontal de 3 horas e 0,25° (ROZANTE, 2017).

O segundo produto é gerado a partir do *Global Precipitation Measurement (GPM) Integrated Multisatellite Retrievals for GPM* (IMERG).

Segundo Rozante (2017):

O IMERG é executado em “tempo real” e fornece estimativas de precipitação em duas etapas: a primeira fornece uma estimativa rápida (atraso de aproximadamente 4 horas) levando em conta apenas os dados que chegaram até o momento (denominada de Early), e a segunda (atraso de aproximadamente 12 horas) é processada após a chegada de mais dados, e consequentemente mais precisa (denominada Late). Os dados do GPM-IMERG são disponibilizados com resolução temporal de 30 minutos e resolução horizontal de 0.1° graus.

Kidd e Levizzani (2011) ressaltam que a disponibilidade de observações a 4×4 km a cada 15 minutos está disponível em alguns dos satélites GEO estacionário, com potencial para 1×1 km, 1 minuto de imagem no modo de varredura rápida.

Os autores também ressaltam que, devido à natureza indireta da relação de precipitação entre as nuvens e a superfície, tais estimativas estão sujeitas a erros, mas que o produto Hidro Estimador, baseado nas observações do canal IR do GOES (SCOFIELD E KULIGOWSKI, 2003), mostraram-se úteis para uso operacional nos Estados Unidos.

3.4 Uso de satélites meteorológicos para monitoramento de Eventos Naturais

O uso de satélites para o monitoramento de desastres naturais já era destacado por Tralli *et al.* (2005). Os autores citaram que o uso de dados de satélites para alerta de inundações através da interação do uso do satélite com mediação pontuais da precipitação, características da bacia e modelos hidrológicos, podem ser utilizados em diferentes escalas: globais, sinóticas e mesoescala em relação as tempestades.

Kidd e Levizzani (2011) comentaram a utilização de dados de satélite para a previsão de inundação e movimentos de massa, assim como para o monitoramento da seca. Os autores destacam que para cada tipo de evento hidrológico há a necessidade de uma resolução espacial e temporal da imagem de satélite, podendo ser categorizadas em dois tipos: estimativas de alta resolução para eventos de curta duração e estimativas de baixa resolução para eventos de longo prazo.

Para eventos de longo prazo, pode-se destacar o *Global Flood Awareness System* (GloFAS) que tem como metodologia a geração de probabilidades diárias de vazão e probabilidade de inundação para bacias nas áreas a montante do ponto analisado superior a 400km², com resolução espacial de 0,1°. Para tanto são utilizados os dados meteorológicos do modelo de previsão numérico *Ensemble Prediction System* (ENS) do Centro Europeu de Previsão de Tempo Médio (ECMWF) (REVILL-ROMERO *et al* 2015).

No Brasil, a previsão hidrológica da bacia hidrográfica do Rio Madeira realizado pelo Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (Cemaden) considera o modelo de previsão meteorológica do Centro Europeu, *European Centre for Medium-Range Weather Forecast* (ECMWF), constituído de 51 membros e resolução espacial de 20 km, aproximadamente e o modelo atmosférico da *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA), *Global Ensemble Forecast System* (GEFS) previamente conhecido como *GFS Global Ensemble* (GENS), constituído por 21 membros e resolução espacial de 50 km, aproximadamente. O resultado desta técnica de previsão de tempo por conjunto pode ser observado na Figura 3 que ilustra os diferentes cenários de vazão em função dos modelos metrológicos (CEMADEN, 2018).

Figura 3- Cenários de vazão para Porto Velho no dia 10 de abril de 2018.

Fonte: Cemaden (2018).

A ilustração acima demonstra diferentes cenários possíveis do GFS para a vazão do rio Madeira, no município de Porto Velho. No gráfico é possível observar as cotas de Atenção, Alerta e Inundação e comparar as cotas estimadas pelo GPM para os anos de 2014, 2015, 2016 e 2017, das cotas observadas pela estação fluviométrica para os anos de 2014 e 2018, além das cotas estimadas pelos membros para o ano de 2018. A ilustração permite aos gestores relacionados ao risco de inundação, utilizar as informações obtidas para estimar quando o nível do rio Madeira poderá afetar a população, as vias de acesso ao município, entre outros elementos.

Estudos apresentados por Abou El-Magd (2010) e Taha *et al.* (2017) citaram o uso do TRMM para eventos de inundação brusca no Egito.

Estimativas de precipitação por satélite para previsão de inundação em tempo real são elementos essenciais em sistemas de alerta de inundação em muitos países onde os pluviômetros ou radar meteorológico são escassos ou inexistentes (COLLIER, 2007).

Scofield e Kuligowski (2003) relataram que a previsão de enxurrada é um dos mais sérios desafios para as comunidades de previsão operacional e de pesquisa e que as informações oportunas e confiáveis sobre a precipitação recente, atual e futura são vitais para permitir que os operadores façam previsões precisas e oportunas para alertar o público apropriadamente.

Soma-se aos desafios tecnológicos do monitoramento de eventos hidrológicos por satélite ao fato de que as enxurradas são aquelas inundações caracterizadas por sua rápida

ocorrência, o que segundo Collier (2007) resulta em uma oportunidade muito limitada para que os avisos sejam preparados e emitidos.

Entre as ferramentas utilizadas, o *nowcasting* se destaca. Rivolta *et al.* (2006) definiram o termo como sendo a capacidade de prever a evolução do campo geofísico de interesse a partir de imagens de satélite meteorológicos em escalas de tempo de curtíssimo prazo.

Assim como Scofield e Kuligowski (2003), Rivolta *et al.* (2006) também destacam que a previsão da precipitação de imagens de satélite está se tornando uma questão importante para várias aplicações, principalmente relacionadas à proteção civil.

3.5 Da necessidade de monitoramento dos Eventos Naturais

Os eventos, segundo a Classificação e Codificação Brasileira de Desastres (Cobrade) adotada pelo Ministério do Desenvolvimento Regional, são divididos em duas categorias relacionadas à sua origem, sendo elas Tecnológicos e Naturais, instituídos pela Instrução Normativa Nº 01, de 24 de agosto de 2012.

Historicamente houve uma padronização da metodologia utilizada no Brasil, na qual foi adotada a metodologia utilizada no Banco de Dados Internacional de Desastres (EM-DAT) do Centro para Pesquisa sobre Epidemiologia de Desastres (CRED) da Organização Mundial de Saúde (OMS/ONU), mantido pela Universidade Católica de Louvain (Bélgica), conforme descrito no Anexo I da própria Instrução Normativa (BRASIL, 2012):

O Banco de Dados Internacional de Desastres (EM-DAT), do Centro para Pesquisa sobre Epidemiologia de Desastres (CRED) da Organização Mundial de Saúde (OMS/ONU) distingue duas categorias genéricas de desastres (Natural e Tecnológico). Adequar a classificação brasileira à classificação utilizada pela ONU representa o acompanhamento da evolução internacional na classificação de desastres e o nivelamento do país aos demais organismos de gestão de desastres do mundo.

Desta forma, a adoção deste novo critério possibilita ao governo uma gestão compartilhada de informações, uma vez que a mesma classificação não necessita de uma adequação para a inserção de informações no banco de dados internacional.

Com a adoção destes novos critérios, o Cobrade passa a dividir os desastres em ocasionados por Eventos Tecnológicos e por Eventos Naturais.

Segundo o EM-DAT (2016), comparando os valores de desastres ocasionados por Eventos Naturais e Eventos Tecnológicos, observa-se, conforme ilustrado na Figura 4, que os

valores em todas as categorias deste banco de dados apresentam-se significativamente maiores para os desastres que tiveram origem a partir de Eventos Naturais.

Figura 4- Percentuais dos registros dos Eventos Naturais e Tecnológicos do EM-DAT (2016) de 1900 a 2015.

Fonte: adaptado de EM-DAT (2016).

O registro histórico é de extrema importância, uma vez que possibilita verificar os países mais afetados e aqueles em que se observa a diminuição ou aumento do registro dos eventos, além disso, possibilita também verificar os tipos de eventos a que os países e a população estão mais susceptíveis.

Tominaga (2009) citou o crescente aumento do número de desastres a partir da década de 1970, assim como o aumento do prejuízo estimado, com destaque para o fato que o autor relata que as populações em risco têm apresentado um crescimento anual em torno de setenta a oitenta milhões de pessoas, sendo que, mais de noventa por cento dessa população encontra-se nos países em desenvolvimento, com as menores participações dos recursos econômicos e maior carga de exposição ao desastre.

Destacando a quantidade de ocorrências de desastres naturais, segundo o Escritório das Nações Unidas para a Redução de Desastres- UN-ISDR, o ano de 2011 foi marcado por 302

desastres naturais, que mataram 29.782 pessoas no mundo, principalmente na Ásia (PARIZZI, 2014), dados este que fomenta o questionamento sobre quais Eventos Naturais a população mundial está mais susceptível. No banco de dados do EM-DAT, entre os Eventos Naturais que registraram desastres, conforme ilustra a Figura 5, destacam-se o percentual de pessoas mortas por Eventos Climatológicos e o número de pessoas afetadas e desabrigadas por Eventos Hidrológicos.

Figura 5- Percentuais dos registros dos Eventos Naturais do EM-DAT (2016) de 1900 a 2015.

Fonte: adaptado de EM-DAT (2016).

Conforme ilustrado na Figura 5, existe uma predominância de afetados para os Eventos Climatológicos e Hidrológicos. Ainda que os dois eventos possuam um percentual alto de número de pessoas afetadas, os Eventos Hidrológicos destacam-se pelo número de pessoas desabrigadas, o que possibilita inferir que as pessoas habitavam em regiões propensas às inundações.

Observando os registros dos elementos que compõem os Eventos Naturais deste mesmo banco de dados é possível destacar que os Eventos Hidrológicos foram os que apresentaram o maior número de registros nos últimos anos, seguidos dos Eventos Meteorológicos, conforme

ilustra a Figura 6. Esta mesma observação foi relatada em diversos estudos como os trabalhos de Jha, Bloch e Lamond (2012), Tingsanchali (2012).

Figura 6- Registros de ocorrência de Eventos Naturais do EM-DAT (2015) de 1900 a 2015.

Fonte: adaptado de EM-DAT (2016).

Relacionando o total de afetados, na Figura 5 e o número de registro de ocorrência descrito na Figura 6, é possível concluir que os Eventos Hidrológicos foram o que mais expressivos para a população nas últimas décadas.

Em um estudo realizado por Jonkman (2005) que focou em obter dados sobre os eventos de inundação em que foram registradas a perda da vida humana entre o período de janeiro de 1975 e junho de 2002, destacou que as enchentes causaram cerca de 1.550 mortes por ano. Além disso, o estudo mostrou que a mortalidade por inundações bruscas (calculada como o número de fatalidades dividido pelo número de pessoas afetadas) é maior do que a de outros riscos naturais.

Borga *et al.* (2011) cita que a ocorrência de enxurradas é preocupante em função do número de pessoas afetadas e também na proporção de fatalidade, os autores também evidenciam que o potencial de vítimas e danos por enxurradas também está aumentando em muitas regiões devido ao desenvolvimento social e econômico, associado a eles pela pressão sobre o uso da terra.

As inundações são também muitas vezes acompanhadas por outros perigos, tais como deslizamentos de terra, fluxos de lama, colapso de pontes, danos a edifícios e empresas e danos

psicológicos a pessoas com, em situações extremas, mortes de indivíduos (COLLIER, 2007). Este fato também é destacado pela Agência Nacional das Águas (ANA) que cita que na década de 1990, entre as pessoas atingidas por algum tipo de desastre natural no “mundo”, 75% foram vítimas de inundações (RIGHI, 2016), além disso, Muñoz e Valeriano (2015) ressaltaram que as inundações causaram a maior proporção de perdas materiais e humanas, em âmbito global, no período 1900 – 2014.

Evidenciando apenas os Eventos Hidrológicos, a Figura 7 ilustra o número de casos de inundação observados nos continentes a partir da década de 1950. É possível notar que os registros do banco de dados do EM-DAT (2016) demonstram o aumento do número de eventos na década de 2000, sendo relatado quase que o dobro de eventos em relação a década anterior, o que reforça as informações do UN-ISDR.

Figura 7- Número de eventos de inundação por Continentes a partir da década de 1950.

Fonte: Adaptado de Em-Dat (2016).

O aumento da frequência e magnitude dos eventos de inundação foi observado em diferentes locais do globo. Na Malásia, em que 68% da população residem em áreas urbanas

desde a década de 1990 e os eventos hidrológicos ocasionados pelas monções já é superado por eventos mais críticos, ocasionados pelo uso e ocupação do solo (MOHIT, SELLU, 2013).

A importância dos estudos relacionados aos desastres naturais pode ser observada pela grande quantidade de eventos de média e grandes proporções que ocorrem em um curto espaço de tempo em diversos locais do globo, conforme dados observados nas Figuras 5, 6 e 7, o que mostra a necessidade de estudos que possam proporcionar mecanismos que minimizem os impactos e aumentem a resiliência das áreas afetadas.

3.6 Eventos naturais no Brasil

Conforme descrito anteriormente, o Brasil adotou os mesmos critérios que o EM-DAT para a Classificação dos Eventos Naturais e Tecnológicos, e os registros nacionais estão disponíveis no Banco de Dados do Sistema Integrado de Informações sobre Desastres (S2ID) do Ministério do Desenvolvimento Regional- MDR.

Segundo Ferreira e Poleto (2015), os registros no S2ID mostram que durante o período de 1991 a 2012 o evento que mais se destacou foi o de Movimentos de massa, o qual teve um aumento de 21,7% na década de 2000. Considerando o número de afetados, os eventos que se destacam são os relacionados à Estiagem e Seca (51,31%), à Enxurrada (20,66%) e à Inundação (12,04%). Tominaga (2009) comenta que os principais fenômenos relacionados a desastres naturais são derivados da dinâmica externa da Terra, e ocorrem normalmente associados a eventos pluviométricos intensos e prolongados nos períodos chuvosos, que correspondem ao verão na região Sul e Sudeste e ao inverno na região Nordeste.

Em um espaço de tempo menor, o EM-DAT (2016) cita que entre 2000 e 2007 mais de 1,5 milhões de pessoas foram afetadas por algum tipo de desastre natural no Brasil. Neste mesmo período ocorreram no país cerca de 40 grandes episódios de enchentes, secas, deslizamentos de terra, com prejuízo econômico estimado em mais de US\$ 2,5 bilhões (MMA, 2007).

Os Eventos Naturais, quando somados a ação antrópica, potencializam a possibilidade de ocorrência dos desastres naturais e, segundo Marcelino (2008), Jha, Bloch e Lamond (2012), sendo as inundações o fenômeno mais frequente no Brasil.

Os estudos citam diversos Eventos Hidrológicos no Brasil, com destaque para os ocorridos na década de 1980 em todas as regiões do país (RAMOS *et al.*, 1989). No ano de

2008 o país ocupou a 10ª posição mundial em relação ao número de vítimas de desastres hidrológicos, com 1,8 milhão de pessoas afetadas (TOMINAGA, 2009).

A título de exemplificação, em dezembro de 2009 e início de 2010 os municípios de Cunha, Lagoinha e São Luiz do Paraitinga registraram eventos de movimentos de massa e inundação. Stabile e Colângelo (2017) relatam em um estudo realizado em uma área de 1000 km² na porção leste do rio Paraitinga, duas mil duzentas e sessenta e cinco (2265) cicatrizes de escorregamento, conforme destacado na Figura 8.

Figura 8- Mapa de isoietas de precipitação acumulada em 96 horas (entre os dias 29/12/2009 e 01/01/2010).

Fonte: Stabile e Colângelo (2017)

Sobre a perspectiva dos eventos hidrológicos, as Figuras 9 e 10 ilustram o evento hidrológico no município de São Luiz do Paraitinga, sendo possível observar a magnitude do evento. Segundo Moradei (2016) o transbordamento do rio Paraitinga iniciou no dia 1º de janeiro com ápice no dia 2 de janeiro de 2010.

Figura 9- Evento hidrológico no município de São Luiz do Paraitinga. (a) Igreja Matriz e (b) área central do município.

Fonte: Arquivo da Defesa Civil Municipal de São Luiz do Paraitinga apud Moradei (2016).

Figura 10- Área urbana afetada pelo evento hidrológico no município de São Luiz do Paraitinga.

Fonte: Moradei (2016).

Em relação à região Sul, os eventos de enxurrada com registros reconhecidos pelo governo federal no período de 2006-2016 apresentaram valores superiores às regiões Centro-Oeste, Norte e Nordeste juntas (FERREIRA, POLETO, BARBAROTTO JÚNIOR, 2017).

O Atlas Brasileiro de Desastres Naturais agrupou as informações relacionados aos danos de humanos associados aos eventos de enxurrada entre os períodos de 1991 a 2012, conforme descrito na Tabela 3, além disso, o atlas também destaca que para este período, os maiores registros de ocorrência foram para os anos de 2009, 2010 e 2011 (CEPED UFSC, 2013).

Tabela 3- Danos humanos associados às enxurradas por região (período de 1991 a 2012)

	Norte	Nordeste	Sul	Sudeste	Centro-Oeste
Afetados	983.584	2.188.911	9.250.101	8.590.647	9.250.101
Mortos	47	8	224	1.461	224
Enfermos	23.963	110	4.846	12.076	4.846
Feridos	1.781	101	7.727	13.378	7.727
Desaparecidas	6	1	217	244	217
Desabrigadas	73.903	7.343	120.070	138.349	120.070
Desalojados	261.791	20.062	393.923	538.829	393.923

Fonte: adaptado de CEPED UFSC (2013)

Nesta tabela podemos verificar o elevado número de pessoas afetadas, com destaque para as regiões Sudeste, Sul. A severidade com que ocorrem os eventos de enxurradas também é destacado no Atlas, que cita que a enxurrada é o tipo de desastre que causou o maior número de mortes entre os tipos de desastres analisados, totalizando 58,18% das mortes.

Considerando apenas o estado do Rio Grande do Sul, entre os anos de 2003 e 2009 foram registrados 1.640 desastres naturais, atingindo 94,6% dos municípios e mais de 7.500.000 pessoas, sendo que 11% dos desastres registrados foram referentes à eventos de inundações (RODRIGUES, FACHEL, PASSUELLO, 2012).

Um elemento importante descrito por Tucci e Bertoni (2003) é que os relatos dos eventos hidrológicos se perdem ao longo dos anos, o que evidencia a inexistência de um banco de dados de desastres em nível municipal, estadual e federal, impossibilitando o acompanhamento dos eventos ocorridos, prejudicando inclusive o gerenciamento dos espaços urbanos.

Os autores relatam o caso de Porto Alegre (RS) em que foi construído um dique de proteção após os eventos de inundação em 1967. Devido à falta de eventos significativos por 35 anos após a construção do dique, foi sugerido e aprovado por votação na câmara municipal a retirada do dique de inundação, demonstrando a necessidade de uma maior compreensão sobre os eventos hidrológicos e planejamento institucional sobre espaço e risco

Os questionamentos realizados pelo IBGE aos municípios, denominados de Perfil dos Municípios, no período de 2011 a 2015, buscou caracterizá-los em relação à Lei nº 12.608 de 2012 (BRASIL, 2012), e identificou diversos elementos importantes para a gestão e planejamento urbano sobre as perspectivas dos eventos hidrológicos e de movimentos de massa.

A Lei nº 12.608 de 2012 institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil - PNPDEC; dispõe sobre o Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil - SINPDEC e o

Conselho Nacional de Proteção e Defesa Civil - CONPDEC; autoriza a criação de sistema de informações e monitoramento de desastres.

Segundo informações fornecidas pelo IBGE (2013) observa-se um elevado número de edificações em áreas de risco sujeitas a enxurrada, com destaque para o estado de São Paulo, Rio Grande do Sul e Minas Gerais, conforme ilustra a Figura 11.

Figura 11- Edificações atingidas na área urbana por enxurradas, entre os anos de 2009 até 2013.

Fonte: Adaptado de IBGE (2013).

Esta mesma pesquisa realizada pelo IBGE apontou que 1574 municípios registraram eventos de enxurradas nos últimos 5 anos. Destes, 87,6% dos municípios souberam informar os locais em que ocorrem a enxurrada e 26,37% municípios não souberam informar o número de edificações atingidas nas áreas urbanas, o que ilustra a necessidade de implantar mecanismos para avaliar os eventos naturais que causaram desastres, assim como também implantar nos municípios políticas para avaliar as áreas mais susceptíveis a desastres.

Observando estes dados em relação aos eventos hidrológicos, foi possível destacar que 494 municípios foram atingidos por inundação nas áreas urbanas entre os anos de 2009 a 2013, os quais ocorreram em áreas naturalmente inundáveis e com ocupação regular. Em relação à enxurrada, observa-se que o número de municípios que foram atingidos por inundação nas áreas urbanas foram 422 e, além disso, 229 municípios relataram ter eventos de inundação e enxurrada nos últimos 5 anos em áreas também naturalmente inundáveis e com ocupações regulares.

A Figura 12 ilustra a disposição dos municípios brasileiros que registraram eventos hidrológicos em áreas naturalmente inundáveis e com ocupações regulares, com destaque para a maior concentração na Região Sudeste.

Figura 12- Municípios com registro de eventos de inundação nos últimos 5 anos em áreas naturalmente inundáveis e com ocupação regular.

Fonte: adaptado de IBGE (2015).

As Figuras 13 e 14 ilustram os municípios brasileiros com eventos hidrológicos de inundação e enxurrada reconhecidos pelo governo federal entre o período de 2006 a 2016, demonstrando que esses eventos são recorrentes em muitos municípios brasileiros.

Figura 13- Eventos de Inundação (2006-2016) reconhecidos pelo governo federal.

Figura 14- Eventos de Enxurrada (2006-2016) reconhecidos pelo governo federal.

A Figura 13 demonstra que os eventos relacionados a inundação foram mais recorrentes nas Regiões Norte e Sul do país para o período de 2006 a 2016, uma vez que esses eventos são comuns em grandes bacias hidrográficas. Na Figura 14 foi possível observar que a distribuição dos registros de eventos de enxurrada está mais concentrada nas Regiões Sudeste e Sul do país.

Como resultado, o questionário indicou que os eventos de inundação e enxurrada ocorrem em áreas naturalmente inundáveis e com ocupações regulares, o que evidencia a falta de planejamento urbano, uma vez que áreas com alta probabilidade de reincidência dos eventos não deveriam ser ocupadas pela população e muito menos estarem regularizadas, o que acontece na maioria dos casos.

No âmbito legislativo, conforme citam Ferreira e Poletto (2015), o Plano Diretor (PD) e o Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB) são os dois instrumentos que fomentam, na gestão pública, a necessidade de reorganizar e redimensionar o solo urbano, de forma a acomodar o crescimento populacional e o crescimento econômico, minimizando impactos e favorecendo o elo da sustentabilidade das cidades.

Com a inclusão da necessidade de elaboração do PD para as cidades que estão incluídas no cadastro nacional de Municípios e que possuem áreas suscetíveis à ocorrência de deslizamentos de grande impacto, inundações bruscas ou processos geológicos ou hidrológicos correlatos (Lei nº 12.608 de 2012), espera-se um avanço na identificação das áreas mais críticas nos municípios e também da proposição de medidas para a gestão destas áreas.

A Figura 15 ilustra os municípios que possuíam algum dos seguintes planos: a) Plano Diretor que contemplavam a prevenção de eventos hidrológicos, b) Plano de Contingência ou Emergência para casos de desastres naturais, c) Plano Municipal de Redução de Risco, d) Sistema de Alerta Antecipado de Desastres, e) Mapeamento das áreas de risco de enchentes ou f) inundações e Conselho de Defesa Civil.

Observando a disposição destes quesitos na Figura 15, é possível inferir que 42,8% dos municípios brasileiros não possuíam nenhum dos seis planos citados, além disso, 33,39% dos municípios possuíam apenas um dos planos, 13,97% possuíam 2 planos, 5,83% dos municípios brasileiros possuem 3 planos, 2,85% possuem 4 planos e apenas 0,97% disseram ter 5 planos e 0,18% possuem os 6 planos citados anteriormente. A Região Centro-Oeste se destacou na pesquisa por ser proporcionalmente a que apresentou o menor número de planos elaborados.

Destaca-se o fato que dos 2035 municípios que registram eventos de inundação e/ou enxurrada no período pesquisado pelo IBGE, 601 municípios apresentaram eventos hidrológicos e não possuíam na época do levantamento nenhum dos planos avaliados, o que evidencia a ausência de gerenciamento de risco enquanto política pública dos municípios.

Figura 15- Número de planos relacionados ao risco hidrológicos por municípios brasileiros.

A integração de diversas áreas do governo, seja municipal, estadual ou federal, deve ocorrer de forma a promover ações que sejam mais proativas do que reativas. Tingsanchali (2012) cita que em países em desenvolvimento destacam-se mais ações reativas, as quais requerem mais esforço e tempo, mais orçamento, equipamentos, instalações e recursos humanos.

Conforme informação disponibilizada por esse levantamento, em 2013 os municípios brasileiros estimavam, a partir dos estudos e mapeamentos realizados, que quatro milhões, quatrocentos e setenta e dois mil, duzentos e oitenta e três pessoas (4.472.283) estavam vulneráveis aos eventos de enchentes ou inundações graduais, ou enxurradas ou inundações bruscas nas áreas urbanas brasileiras (IBGE, 2013).

3.7 Eventos Hidrológicos- Definições adotadas

Em função da quantidade de Eventos Hidrológicos e também da frequência dos registros destes no país, a diferenciação dos tipos faz-se importante para melhor classificá-los e compreender a dinâmica envolvida nesse processo. De acordo com o Cobrade (BRASIL, 2012), os Eventos Hidrológicos são subdivididos em três subgrupos, sendo eles inundação, enxurrada e alagamento:

- A inundação é a submersão de áreas fora dos limites normais de um curso de água em zonas que normalmente não se encontram submersas. O transbordamento ocorre de modo gradual, geralmente ocasionado por chuvas prolongadas em áreas de planície.
- A enxurrada é o escoamento superficial de alta velocidade e energia, provocado por chuvas intensas e concentradas, normalmente em pequenas bacias de relevo acidentado. Caracterizada pela elevação súbita das vazões de determinada drenagem e transbordamento brusco da calha fluvial. Apresenta grande poder destrutivo.
- O alagamento é a extrapolação da capacidade de escoamento de sistemas de drenagem urbana e consequente acúmulo de água em ruas, calçadas ou outras infraestruturas urbanas, em decorrência de precipitações intensas.

Anteriormente a Instrução Normativa Nº 1, que entrou em vigor em 24 de agosto de 2012, também faziam parte da classificação da antiga Codificação De Desastres, Ameaças E Riscos -CODAR os itens Enchente, Inundações Litorâneas e Inundações Bruscas. O primeiro item também poderia ser classificado como Inundação Gradual. As Inundações Litorâneas eram aquelas provocadas pela Brusca Invasão do Mar e as designações para os eventos de inundações bruscas também poderiam ser classificadas como enxurradas, sendo mantidos apenas os itens inundação, enxurrada e alagamento. Estas definições são importantes porque aparecem em diversas literaturas referente aos termos e estarão presentes também na análise do banco de dados, uma vez que será preciso fazer correlações de ambos os itens com as informações disponibilizadas pelo atual sistema.

Outro exemplo do uso de diferentes termos para o mesmo processo é o da enxurrada que era definida como inundação brusca até o ano de 2012, mas na literatura o termo também pode ser encontrado como inundação relâmpago, inundação ou enchente repentina.

3.8 Drenagem Urbana como elemento que influência nos Eventos Hidrológicos

O desenvolvimento urbano altera as características naturais do terreno, e o processo de urbanização observado na maioria das cidades contribui para a redução da infiltração e da evapotranspiração da bacia hidrográfica, aumento da temperatura, aumento da superfície impermeável e, conseqüentemente, aumento do pico e do volume escoado em um tempo de concentração menor, o que é agravado quando soma-se a inadequação dos sistemas de drenagem existentes.

Em se tratando dos problemas ocasionados pelos processos de ocupação, Tucci (2002) cita que as inundações em áreas ribeirinhas e aquelas ocasionadas pela urbanização são os principais processos que promovem o escoamento superficial, os quais são alterados pela infraestrutura urbana e com isso, assim como em um efeito cascata, a dinâmica e todos os processos sofrem alterações que acabam por requerer constantemente adequações para minimizar estes efeitos.

O esquema proposto por ICLEI BRASIL (2011), na Figura 16, ilustra as variações que ocorrem no trajeto natural da água precipitada devido à alteração ocasionada pelo ambiente urbano.

Figura 16- Fluxos das águas pluviais e o ambiente urbano

Fonte: ICLEI BRASIL (2011).

A figura destaca os possíveis diferentes caminhos percorridos pela água precipitada em função do planejamento da cidade, quer seja com a integração de outros sistemas como efluente sanitário ou apenas diretamente interligado aos canais de drenagem. A escolha de qual será o caminho a ser adotado pela água precipitada pode contribuir para garantir impactos mínimos no que concerne a inundação, erosão e a dispersão de poluentes dentro do ambiente urbano e a jusante ICLEI BRASIL (2011).

Em relação às causas das enchentes provocadas pela urbanização, Pompêo (2000) destaca o excessivo parcelamento do solo e a consequente impermeabilização das grandes superfícies, a ocupação de áreas ribeirinhas tais como várzeas, áreas de inundação frequente e zonas alagadiças, a obstrução de canalizações por detritos e sedimentos e também as obras de drenagem inadequadas.

Tucci e Bertoni (2003) diferenciam as inundações ribeirinhas e as inundações ocasionadas pela drenagem urbana, sendo a primeira aquela proveniente de uma precipitação intensa e o solo não é capaz de suportar o volume precipitado e como consequência a água escoar através do sistema de drenagem ocupando a várzea. Já as inundações ocasionadas pela drenagem urbana ocorrem devido à impermeabilização do solo e o aceleração do escoamento através dos condutos e canais que saturam o sistema, uma vez que toda a água drenada chega ao sistema em um curto período de tempo, fomentando assim os eventos de inundação.

Tucci e Bertoni (2003) citam ainda que estes problemas dependem do grau de ocupação da várzea pela população e da impermeabilização e canalização da rede de drenagem, além do mais, outro fator que corrobora para os eventos é a tendência que existe no planejamento urbano de drenarem o escoamento pluvial o mais rápido possível das áreas urbanizadas.

Em relação às características das influências da urbanização nos eventos de inundação, Tucci e Bertoni (2003) e Tucci (2008) citaram que o desenvolvimento urbano das cidades causa os seguintes impactos:

- Aumento das vazões máximas (em até 7 vezes) e da sua frequência devido ao aumento da capacidade de escoamento através de condutos e canais impermeabilizados;
- Aumento da produção de sedimentos devido à desproteção das superfícies e à produção de resíduos sólidos;
- A ocorrência de outros impactos devido à forma desorganizada como a infraestrutura urbana é implantada, tais como: a) pontes e taludes de estradas que obstruem o escoamento; (b) redução de seção do escoamento por aterros de pontes e para contrações em geral; (c) deposição e obstrução de rios, canais e condutos por lixo e sedimentos; (d) projetos e obras

de drenagens inadequadas, com diâmetros que diminuem para jusante, drenagem sem esgotamento, entre outros.

Além dos itens descritos anteriormente, em se tratando apenas da concepção do projeto de drenagem, alterações na forma de dimensionamento também podem favorecer ou minimizar os eventos hidrológicos em áreas urbanas. Sobre esse tema, os trabalhos publicados por Allasia e Villanueva (2007 a e b) fazem apontamentos sobre as dificuldades relacionadas à concepção do sistema de macrodrenagem urbana em função dos dados que devem ser utilizados para o dimensionamento, como por exemplo, os dados hidrológicos. O estudo também apontou que o CN (Método do número de curva) é um dos parâmetros que apresentou maior sensibilidade e, quando realizada a análise apenas desse parâmetro. Com relação as influências dele sobre a concepção do sistema de drenagem, o estudo apontou que para os erros usualmente cometidos na estimativa do CN, a vazão de pico variou entre 30 e 160%.

Ainda em relação aos dimensionamentos das redes e a influência destes nos eventos hidrológicos, Mahunguana e Bravo (2015) citaram que a posição do pico do hietograma do projeto influencia o valor de pico, tempo de pico, volume e distribuição temporal do hidrograma de projeto resultante, o que pode ser transferido para o dimensionamento hidráulico das obras propostas, podendo alterar o seu custo, as medidas de controle de cheias, além do planejamento e gestão de recursos hídricos (YUE *et al.*, 2002 apud MAHUNGUANA, BRAVO, 2015).

Somados aos problemas de dimensionamento das redes, outros fatores também prejudicam a concepção inicial do sistema de drenagem, como o lançamento do efluente sanitário nas redes de águas pluviais e a construção excessiva de canais e condutos que apenas transferem as inundações de um local para outro dentro da cidade, a custos às vezes insustentáveis para o município (TUCCI e BERTONI, 2003), além da análise segregada dos projetos de drenagem.

Para este último, Tucci (1995) destaca:

Quando um loteamento é projetado, os municípios exigem apenas que o projeto de esgotos e pluviais seja eficiente no sentido de drenar a água do loteamento. Quando o poder público não controla essa urbanização ou não amplia a capacidade da macrodrenagem, a ocorrência das enchentes aumenta, com perdas sociais e econômicas. Normalmente, o impacto do aumento da vazão máxima sobre o restante da bacia não é avaliado pelo projetista ou exigido pelo município. A combinação do impacto dos diferentes loteamentos produz aumento da ocorrência de enchentes à jusante. Esse processo ocorre através da sobrecarga da drenagem secundária (condutos) sobre a macrodrenagem (riachos e canais) que atravessa as cidades. As áreas mais

afetadas, devido à construção das novas habitações a montante, são as mais antigas, localizadas a jusante.

Historicamente os eventos hidrológicos ocasionados pela drenagem urbana ou devido à urbanização são recentes, conforme destacam Tucci e Bertoni (2003)

Poucos exemplos históricos (antes dos anos 60) são encontrados para cenários de inundações produzidos pela drenagem urbana ou devido à urbanização. Estes cenários são recentes em função das obras de canalização produzida pelo tipo de desenvolvimento urbano ocorrido depois dos anos 60 na maioria dos países desenvolvidos. Estes mesmos países identificaram já nos anos 70 que esse tipo de política era economicamente insustentável, alertando a forma de gerenciar a drenagem urbana para controle não estrutural e medidas de controle de volume através de detenções urbanas.

Considerando então o aspecto dos projetos de um sistema de drenagem, muitos elementos devem ser considerados, uma vez que as decisões tomadas nesta etapa influenciam diretamente o ambiente urbano.

O dimensionamento dos sistemas de micro e macrodrenagem é baseado em diversas informações, com destaque para aquelas adotadas pelos gestores em relação ao nível de segurança, que é resultado de uma análise em função do tempo de retorno (TR), o qual comumente é de 5 a 10 anos para a microdrenagem de 50 e 100 anos para macrodrenagens (CANHOLI, 2014).

Em relação ao nível de segurança, Canholi (2014) utilizou como exemplo o caso do projeto *Várzeas do rio Tiête* (2010), em que a empresa Hidrostudio Engenharia desenvolveu uma metodologia para o Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID) que possibilitou a detecção de áreas cuja alternativa era “nada a fazer”. Isto ocorre porque em qualquer área que seja passível de um projeto de micro e macrodrenagem são realizados cálculos em que são considerados danos esperados, sendo ele estimado na análise de Custo-Benefício.

Tucci e Bertoni (2003) citaram que o projeto com tempo de retorno (TR) de 10 anos geralmente é escolhido para dimensionamento da macrodrenagem. Segundo os autores os maiores custos de prejuízos das inundações encontram-se nas inundações com alto risco (baixo tempo de retorno), devido a sua grande frequência de ocorrência.

A Figura 17 apresenta as diversas perdas ocasionadas pelos eventos de inundação. É possível identificar danos materiais, humanos, às atividades e também aquelas consequentes da exposição direta a esses eventos, como por exemplo, as doenças de veiculação hídrica, além de problemas de fundo emocional

Figura 17- Perdas causadas por inundações

Fonte: Parker (2000) apud Zahed Filho (2012).

Este quadro destaca os diferentes níveis sociais, econômicos e materiais que as inundações podem atingir diretamente e indiretamente, assim como o efeito cascata decorrente ou deflagrado por alguma perda anterior. Parker (2000) destaca que ao longo do seu estudo que a relação entre o planejamento urbano e as consequências relacionadas aos eventos de inundação.

Pompêo (2000) relata que no documento “Consulta Nacional sobre a Gestão do Saneamento e do Meio Ambiente Urbano”, realizada pelo Instituto Brasileiro de Administração Municipal em 1994, em relação aos itens drenagem e controle das cheias em áreas urbanas, que as ações eram em sua maioria emergenciais, esporádicas e quase sempre definidas após a ocorrência dos desastres.

A minimização destes impactos passa por diferentes etapas, como a identificação, propostas de mitigação e, eventualmente, e ações que solucionem os problemas, considerando as características da região.

Além da susceptibilidade do local a eventos naturais e da disponibilidade de tecnologia para aumentar a resiliência do local, as características da população nas áreas de risco também devem ser consideradas, Yodmani (2001) destaca que cita que desastres não são mais vistos como eventos extremos criados inteiramente por forças naturais, mas como manifestações de problemas não resolvidos de desenvolvimento.

Os eventos de inundação e enxurrada, além de serem fomentados por um evento de precipitação, também são resultado da má gestão do sistema de drenagem urbano, quer seja na sua fase de projeto, implantação ou manutenção e quer sejam nas escolhas das políticas públicas, que acabam por negligenciar ações voltadas ao uso e ocupação do solo de forma mais sustentável.

3.9 Elementos que compõem o sistema de drenagem urbana

O sistema de drenagem urbana é composto por elementos da emissão na fonte, microdrenagem e macrodrenagem (TUCCI e BERTONI, 2003).

A emissão na fonte refere-se ao escoamento que ocorre no lote, ou seja, aquele proveniente do lançamento da água precipitada ou não, que entra no sistema por meio do lançamento na sarjeta pelo usuário.

Tem-se discutido amplamente que o sistema de drenagem deve ser o foco de muitas ações dos gestores, destacando-se: a) Desenvolvimento de Baixo Impacto; b) Sistema de Design Urbano Sustentável; c) Projeto Urbano Sensível à Água; d) Melhores Práticas de Gestão; e) Práticas de Gerenciamento Integradas. A implantação desses mecanismos visa à retenção da água precipitada no lote. Assim como em muitos casos, ações que visam à mitigação dos eventos de inundação são observadas após grandes eventos, como é o caso da cidade de Fukuoka (Japão) que, somente após o evento de inundação de 2009, começou a implantar nas residências tanques para retenção da água, expandido o sistema até estruturas comunitárias como uma escola (YAMASHITA, WATANABE e SHIMATANI, 2015).

Em relação aos tanques nas residências para retenção da água, estes tipos de mecanismos de sistemas de drenagem sustentáveis, Pompêo (2000) e Tucci (2005) citaram que o emprego deste tipo de técnica é delicado, já que pressupõe instalações em todas as propriedades individuais e a necessidade de manutenção permanente pelo próprio morador.

A microdrenagem, segundo Tucci e Bertoni (2003), é definida pelo sistema de condutos pluviais ou canais em nível de loteamento ou de rede primária urbana, sendo projetado para

atender à drenagem de precipitações com risco moderado. Fazem parte deste sistema as sarjetas, bocas de lobo, galerias, bueiros, tubos de ligação, tubulações enterradas e canais abertos.

Já a macrodrenagem é composta por qualquer sistema de coleta das microdrenagens. E conforme cita Tucci e Bertoni (2003) deve ser projetada para acomodar precipitações superiores ao da microdrenagem, com riscos de acordo com os prejuízos humanos e materiais potenciais.

Sobre o que difere o limite de uma microdrenagem para uma macrodrenagem, assim como uma macrodrenagem de uma simulação de cursos d'água urbanos é difuso segundo Villanueva (2003), mas uma importante distinção realizada pelo autor é o fato que a drenagem urbana se refere a redes tipicamente urbanas, onde pelo menos uma alta porcentagem da rede de drenagem está enterrada e poucos cursos d'água conservam suas características naturais.

Villanueva (2003) relata ainda que as redes de macrodrenagem são completas tanto em configuração física quanto em fenômenos de escoamento que possam vir a apresentar. O autor exemplifica as situações ao citar as redes com múltiplas interligações (trechos paralelos, múltiplos caminhos entre dois pontos); diferentes regimes de escoamento (livre, sob pressão, subcrítico, supercrítico), assim como combinações e transições entre eles; simulação de estruturas especiais como reservatórios de detenção ou casa de bombas; efeitos de remanso e inversão do sentido do escoamento.

Além dessas informações, devem-se citar como componentes do sistema de macrodrenagem os elementos do tipo não estruturais que envolvem, por exemplo, o zoneamento de áreas de inundações (TUCCI e BERTONI, 2003).

3.10 Uso de ferramentas meteorológicas para o envio de alertas

Uma forma de amenizar os impactos e danos causados por eventos hidrológicos de forma não estrutural é através do aviso prévio à comunidade vulnerável da emergência da inundação, em que órgãos da defesa civil municipal tomam as medidas necessárias, como evacuação de áreas de risco, dirigindo a população para abrigos, e o acompanhamento da situação dos rios e drenagens.

Estes avisos geralmente chegam aos municípios por meio de alertas enviados por órgãos governamentais, no âmbito federal estadual e municipal, além de empresas privadas. Um dos desafios quando o assunto é o envio de alertas é fazê-lo de forma antecipada e com um certo grau de confiabilidade, o que envolve diferentes elementos que não podem ser facilmente

equacionados, gerando incertezas que são provenientes da própria natureza e condição dos dados.

Abordando melhor a questão, os modelos hidráulicos, hidrológicos e meteorológicos possuem incertezas individuais e quando unificados, o número de variáveis que precisam ser ajustadas se torna maior, o que reflete diretamente em um maior tempo para o processamento computacional.

Em relação à meteorologia, Caruzzo *et al.* (2017) citaram que desde uma decisão simples até as mais complexas é um desafio e os tomadores de decisão buscam interpretar a previsão de tempo de forma a estruturar o processo decisório (OH *et al.*, 2010 e DEMUTH *et al.*, 2012) do envio de um alerta. Quando se observa pelo lado hidrológico, tem-se nos dados meteorológicos uma das principais incertezas para a previsão de vazões (CLOKE e PAPPENBERGER, 2009; CUO, PAGANO e WANG, 2011; KRZYSZTOFOWICZ, 2001; PAPPENBERGER *et al.*, 2005; PAPPENBERGER *et al.*, 2011 apud FAN *et al.*, 2015).

Desta forma, para o envio de um alerta hidrológico, somam-se as incertezas dos modelos meteorológicos e hidrológicos. Boucher *et al.* (2011), relataram que é praticamente impossível descrever perfeitamente todas as fontes de incerteza associadas à previsão hidrológica, e em função disso é difícil obter diretamente uma estimativa exaustiva perfeita da incerteza total da previsão da ocorrência ou não de um evento.

Um exemplo das incertezas relacionadas aos modelos hidrológicos pode ser observado no evento que devastou a cidade de Dakota do Norte em 1997. Neste caso, o modelo hidrológico estimou que o nível do rio para um determinado evento seria de até 49 pés, aproximadamente 15 metros, e baseados nessa informação os gestores do sistema tomaram as medidas cabíveis para a proteção da população. No entanto, no referido evento a cota superou a capacidade de retenção da inundação pelos diques, forçando a uma evacuação forçada da população (KRZYSZTOFOWICZ, 2001).

Ademais das incertezas já proveniente dos modelos hidrológico e meteorológicos, Caruzzo *et al.* (2017) apontaram um importante elemento a ser observado sobre o uso de dados meteorológicos para a tomada de decisão, que são: qual o limite de tempo, por eles denominado de prazo de validade, para a tomada de decisão sobre o envio ou não de um alerta? Os autores comentaram que normalmente o usuário do sistema aguarda uma atualização da previsão com o prazo mais reduzido, antes de selecionar algum portfólio de mitigação.

Esse tempo para a tomada de decisão, com relação a eventos hidrológico, pode ser determinada, por exemplo, o tempo de concentração da bacia hidrográfica ou o intervalo de tempo para a entrada de novos dados, somado também aos elementos de mitigação, sendo

determinados pelos órgãos gestores do sistema, uma vez que o deslocamento de pessoas para as possíveis áreas que serão atingidas, a evacuação da população e outras medidas que possam vir a ter que serem tomadas em função da magnitude do evento devem ser considerados para o cálculo do prazo de validade para a tomada de decisão.

Fan *et al.* (2015) ilustraram essa situação ao destacar a importância da antecipação da condição de vazão para a mitigação de impactos negativos de eventos hidrológicos, pois permite a emissão de alertas, tomada de decisão na operação de obras hidráulicas, execução de planos de reposta a emergências, por exemplo.

Certamente a tomada de decisão para bacias hidrográficas cujo tempo de concentração é muito pequeno envolvem um risco maior dessa operação, uma vez que o prazo de validade pode ser muito curto e não haver nenhuma nova atualização dos dados hidrológicos e meteorológicos em tempo hábil para o envio do alerta.

Atualmente destaca-se o uso de modelos que permitem a análise das incertezas das condições iniciais meteorológicas, através da previsão por conjuntos, inicialmente proposto por Legler em 1983, descrita da seguinte forma por Mendonça e Bonatti (2002)

Lorenz (1963, 1965, 1969) observou que o conjunto de equações que descrevem os movimentos atmosféricos apresentam dependência sensível em relação à condição inicial, ou seja, pequenos erros nas condições iniciais podem ocasionar grandes erros em uma previsão futura, mesmo que os modelos fossem perfeitos. Esta descoberta mostrou que não basta melhorar a descrição dos fenômenos atmosféricos pelos modelos, mas é preciso levar em conta a incerteza associada as observações utilizadas na geração da condição inicial.

Uma sucinta descrição desta ferramenta é apresentada por Dutra e Campos e Gouvêa Júnior (2017), referenciando Fan *et al.*, 2015, que citam que nas previsões probabilísticas por conjuntos (*Ensembles*), são gerados diversos cenários futuros possíveis, com o objetivo de quantificar as incertezas envolvidas no processo. Tais cenários são gerados devido a uma avaliação de diferentes parametrizações, diferentes condições iniciais ou, ainda, diferentes modelos, são usados para gerar um conjunto de previsões tal que, cada um dos seus membros, representa uma possível trajetória do processo ao longo do horizonte de previsão (cenários equiprováveis).

A importância do uso dessa ferramenta é que ela diminui o custo operacional, assim como o recurso computacional para avaliar todas as possíveis condições. Sobre o uso desta ferramenta sobre a perspectiva hidrológica, Cloke e Pappenberger (2009) relatam que o fato desta técnica considerar incertezas e produzir várias previsões meteorológicas para o mesmo

local e tempo, fez dela um produto atraente para os sistemas de previsão de inundações com o potencial de ampliar o tempo de espera (*leadtime*) e quantificar melhor a previsibilidade.

O uso deste recurso em estudos hidrológicos podem ser extensivamente encontrados na literatura, como por exemplo a Boucher *et al.* (2011) no rio Gatineau, Canadá, em que foi observado pelos autores que a pontuação logarítmica dos conjuntos pós-processados são sistematicamente melhores do que os conjuntos em bruto, por Fan *et al.* (2014) no estudo do reservatório de Três Marias em Minas Gerais, constataram que o uso desta ferramenta demonstrou-se particularmente importante para a operação do reservatório visando o controle de inundação a jusante.

A confiabilidade do uso desta ferramenta vem sendo cada vez mais refinada para sua utilização em diferentes escalas de bacias. Inicialmente, segundo relato de Cloke e Pappenberger (2009), esta metodologia não apresentava melhorias o que o limitava para aplicações hidrológicas. Porém houve melhorias ao longo dos anos, como o estudo realizado por Goeber e colaboradores em 2004, que demonstrou que o modelo UKMO (para um estudo de precipitação de 4mm/ 6 horas) não mais representava áreas predominantemente grandes para pequenas precipitações, mas áreas mais realistas e concentradas de maiores quantidades de precipitação, no entanto a localização desses eventos de pequena escala ainda se apresentava como um problema.

A título de exemplificação de um estudo em uma bacia hidrográfica de porte médio no território brasileiro, tem-se o estudo de caso da bacia do Taquari-Antas (26.415 km²) realizado por Siqueira *et al.* (2016). Os resultados observados dos eventos hidrológicos, apontaram uma correlação satisfatória entre os modelos comparados para o uso desta metodologia para o envio de alertas para as cidades de Lajeado e Estrela localizadas a jusante de Encantado, local que foi determinado como ponto de partida para a modelagem hidrológica, cujo tempo de espera de previsão variou entre 6 a 8 horas, dependendo da magnitude da inundação observada.

Um importante ponto que deve ser novamente evidenciado é que, embora as metodologias mais atuais de previsão meteorológica associada a modelagem hídrica estão ganhando espaços nas pesquisas científicas e os modelos propostos estão sendo aperfeiçoados, é necessário destacar que a escala destes ainda não contempla os eventos de inundação que ocorrem nas áreas urbanas dos municípios devido a urbanização ou drenagem urbana.

Fan, Ramos, Collischonn (2015) citam que diversos elementos trazem incertezas às previsões meteorológicas são: dados hidrológicos disponíveis em tempo real, dados meteorológicos disponíveis em tempo real, equacionamento do modelo hidrológico, calibração

do modelo hidrológico, condições iniciais no momento da previsão, e informações de previsões meteorológicas usadas.

O curto espaço de tempo em que estes eventos são deflagrados e os diferentes elementos que estão associados, como por exemplo as ilhas de calor, áreas de drenagem pequenas, interferência antrópicas que não podem ser modeladas, entre outros, além do tempo de processamento destes modelos que pode vir a ser superior aos dos próprios eventos hidrológicos observados retoma novamente ao ponto de partida deste item, ou seja: um dos desafios quando o assunto é o envio de alertas relacionados aos desastres naturais é fazê-lo de forma antecipada e com um certo grau de confiabilidade.

Doswell III et al. (1996) citam que:

Um grande desafio associado à enxurrada é o caráter quantitativo da previsão: a tarefa não é apenas prever a ocorrência de um evento, que é difícil por si só, mas antecipar a magnitude do evento. É a quantidade de precipitação que transforma uma chuva comum em uma situação extraordinária e ameaçadora à vida. Esse desafio é exacerbado pela interação da meteorologia com a hidrologia. As chances de um determinado evento de chuva produzir uma inundação repentina são dramaticamente afetadas por fatores como a precipitação antecedente, o tamanho da bacia de drenagem, a topografia da bacia, a quantidade de uso urbano dentro da bacia e assim por diante. Assim, um evento de inundação repentina é a concatenação de um evento meteorológico com uma situação hidrológica particular.

Para a previsão dos eventos hidrológicos em bacia urbanizadas é preciso observar as características dos canais em áreas urbanas visando assim obter um produto que possua uma conciliação do modelo meteorológico com o hidrológico, desta forma, é apresentado a seguir os elementos referentes à modelagem do hidráulica.

3.11 Hidráulica em condutos livres

Entre as áreas de conhecimento dentro da mecânica dos fluidos, a hidráulica se caracteriza pelo estudo apenas de líquidos.

Especificamente em relação aos condutos livres, objeto deste estudo, pode se dizer que a característica principal é a presença da pressão atmosférica atuando sobre a superfície do líquido, em uma seção aberta, como nos canais de irrigação e drenagem, ou fechada, como nos condutos de esgoto e galerias de águas pluviais (PORTO, 2006).

Em função das mais variadas situações que podem caracterizar o estudo dos canais livres, diferentes formulações matemáticas foram desenvolvidas, tendo contribuições desde

Arquimedes, Leonardo da Vinci e Torricelli na idade média, Stokes, Darcy, Weisback, Froude, Manning, Reynolds no século XVII e Ven te Chow no século XIX.

A dificuldade e complexidade dos estudos de canais livres deve-se à variedade dos elementos que devem ser caracterizados, como a rugosidade do canal e os parâmetros geométricos dos canais que podem variar no espaço e no tempo (PORTO, 2006).

Desta forma, a caracterização dos canais, do tipo de escoamento, da velocidade, da pressão, escoamento paralelo e da declividade de fundo foram objeto de estudo no decorrer dos últimos séculos.

Objetivando apenas o estudo das relações hidráulicas para canais em conduto livres fechados, será apresentado no decorrer deste item:

- As equações do escoamento de condutos livres fechados
- Ferramentas para modelagem relacionadas à hidráulica de condutos livres
- O modelo SWMM – Storm Water Management Model

3.11.1 Escoamento de condutos livres fechados

O escoamento uniforme é aquele em que há uma constância dos parâmetros hidráulicos, no entanto essa situação somente ocorre em condições de equilíbrio dinâmico, isto é, quando houver um balanceamento entre a força aceleradora e a força de resistência que tende a sustentar o movimento (PORTO, 2006).

Conforme ilustrado pela Figura 18 as forças atuantes no volume de controle entre as seções 1 e 2 estão descritas a seguir, assim como a sua formulação descrita na Equação 1.

$$F_1 - F_2 + W \cdot \sin \theta - F_f = 0 \quad (1)$$

Onda: W: peso;

F₁ e F₂: Forças derivadas da pressão em 1 e 2;

F_f: força de resistência ao escoamento

L: extensão do trecho

Figura 18- Escoamento Uniforme

Fonte: Adaptado de Baptista et al. (2003).

Observa-se na Equação 1, conforme descrito por Porto (2006), que para um trecho do canal com declividade de fundo (I_0) tal que se possa tomar a altura d'água medida na vertical, as forças que atuam sobre o volume de controle na seção são a componente da força de gravidade na direção do escoamento, $W.sen\theta$, as forças de pressão hidrostática e a força de cisalhamento nas paredes e fundo.

Considerando que em hipótese o escoamento é uniforme, a profundidade constante e a distribuição hidrostática das pressões, tem-se que a Equação 2:

$$F_1 = F_2 \quad (2)$$

Tendo em vista que para o escoamento uniforme, o canal apresenta declividade reduzida, pode-se assumir que $sen\theta \equiv tg\theta \equiv I$ e substituindo W por $\gamma.A.L$, tem-se a Equação 3:

$$\gamma ALI - F_f = 0 \quad (3)$$

Em que: γ é o peso específico do líquido; A a área da seção transversal do canal, L a extensão do trecho e I a declividade do canal.

Em 1769, Antoine Chézy demonstrou que a força de resistência ao escoamento (F_f) é proporcional ao quadrado da velocidade, sendo também proporcional à superfície de contato (Perímetro molhado), obtendo assim a Equação 4:

$$F_f = KV^2PL \quad (4)$$

Em que V é a velocidade; P é o perímetro molhado, L é o comprimento do canal e K constante de proporcionalidade, em que K representa o inverso de η .

Associando a Equação 4 a equação do equilíbrio, em que se admite que a profundidade constante, tem-se a Equação 5:

$$\gamma ALI = KV^2PL \therefore V = \sqrt{\frac{\gamma AI}{KP}} \quad (5)$$

Introduzindo na Equação 5 o Fator de Resistência (C) ou coeficiente de rugosidade de Chézy, tem-se a Equação 6:

$$C = \sqrt{\frac{\gamma}{K}} \quad (6)$$

E considerando que A/P refere-se ao Raio hidráulico (R_h), tem-se a Equação 7:

$$V = C\sqrt{R_h I} \quad (7)$$

A Equação 7 refere-se à equação conhecida como Fórmula de Chézy, indicada para escoamentos turbulentos rugosos em canais (PORTO, 2006).

Associando esta última equação a equação da continuidade, obtêm-se a equação fundamental do escoamento permanente uniforme em canais (Q), demonstrada na Equação 8:

$$Q = C.A\sqrt{R_h I} \quad (8)$$

Baptista *et al.* (2003) ressaltam que a grande dificuldade na utilização da equação desenvolvida por Chézy é a definição do valor de C . Porto (2006) destaca que a relação mais utilizada atualmente foi proposta por Manning (1889), associando C ao raio hidráulico, através da análise de resultados experimentais. Desta forma, tem-se a Equação 9:

$$C = \frac{R_h^{1/6}}{\eta} \quad (9)$$

Com o resultado proposto por Manning para o coeficiente e associando a Equação da Continuidade, tem-se a Equação 10:

$$Q = \frac{1}{\eta} \cdot A \cdot R_h^{2/3} \sqrt{I} \quad (10)$$

Onde: η é o coeficiente de rugosidade de Manning.

Segundo Baptista *et al.* (2003), o Coeficiente de rugosidade de Manning, traduz a resistência ao escoamento associada à parede do conduto. A Equação 10 define a velocidade de escoamento corresponde ao escoamento uniforme, ou seja, à condição de equilíbrio entre a força motriz (gravidade) e a força de resistência ao escoamento (atrito).

Porto (2006) ressalta que a fórmula de Manning tem uma origem empírica e o coeficiente (η) é dimensional, sendo, portanto, observados diferentes valores em função do tipo de material de revestimento do canal e também a sua condição.

3.11.2 Ferramentas para modelagem relacionadas à hidráulica de condutos livres

Um modelo é uma representação aproximada para um sistema real e o processo de modelagem é um balanço entre precisão e simplicidade (FINKLER, 2003).

Segundo Zoppou (2001) e Collodel (2009), os modelos de computador têm sido usados para simular o comportamento de sistemas aquáticos desde meados dos anos 1960, com destaque para a década de 1970 quando surgiram os modelos de qualidade e quantidade. Além disso, Johnson *et al.* (2003), Ferreira (2014) destacaram que os modelos matemáticos propostos como ferramentas para estudo dos corpos hídricos evoluíram juntamente com a melhor compreensão dos processos de transporte de massas, associados ao avanço na capacidade de processamento dos computadores pessoais.

OMNR (2002) destacou que historicamente os primeiros modelos hidrológicos computadorizados foram desenvolvidos para bacias rurais, como por exemplo, o Modelo IV da Baía de Stanford desenvolvidos por Crawford e Linsley em 1966 e nas áreas urbanas foi utilizado o Método Racional. No entanto, ao longo dos anos foram desenvolvidos *softwares* que tivessem escoamento superficial e efluente sanitários para caracterizar melhor a realidade dos centros urbanos, com isso criou-se modelos hidráulicos específicos para a área urbana e para a área rural.

Em se tratando de um modelo voltado para a drenagem urbana Meller (2004) e Shinma (2011) citaram que estes foram desenvolvidos principalmente para a representação da transformação chuva-vazão em escoamento superficial, sendo esta parte referente a representação do modelo hidrológico e do modelo de propagação em redes de condutos, canais abertos e transporte de efluentes que se refere ao modelo hidráulico.

Garcia (2005) citou que o estudo de bacias hidrográficas urbanas ganhou maior importância nos últimos anos, devido à necessidade do desenvolvimento de técnicas que minimizem os problemas gerados pelo crescimento acelerado e a falta planejamento de grande parte das cidades brasileiras.

Patry e Mariño (1984) destacaram o esforço das agências governamentais para desenvolverem um modelo matemático relacionado aos processos de precipitação e escoamento em áreas urbanas, sendo essa demanda necessária em função das despesas cada vez maiores associadas à construção de sistemas de coleta de águas pluviais.

Conforme citado anteriormente, a complexidade de elementos variáveis no tempo e no espaço dificulta a análise de um sistema de drenagem urbano, fato este corroborado por Yen (1978).

No trabalho realizado por Collodel (2009) observa-se o levantamento dos modelos utilizados para estudos relacionados à drenagem urbana, destacando também as características de cada modelo.

Os avanços tecnológicos permitiram cada vez o surgimento de novas ferramentas relacionadas à gestão, planejamento e monitoramento das águas pluviais em áreas urbanas. Uma revisão destes modelos realizada por Elliott e Trowsdale (2007) relatou a existência em 2005 de aproximadamente quarenta (40) modelos, o que ilustra a complexidade e diversidade existente para a escolha de uma ferramenta.

Em uma revisão de modelos computacionais relacionados aos eventos hidrológicos no Brasil, Brighenti, Bonumá e Chaffe (2014) realizaram um estudo nas publicações em língua portuguesa entre os anos de 1998 a 2013, visando identificar exclusivamente publicações que utilizaram modelos hidráulica e obtiveram como resultado 46 publicações. Entre aqueles que evidenciaram um coeficiente estatísticos de eficiência, destacaram-se o IPH4, SWMM e o A e C2/MOUSE com fator de correlação superior a 0,9.

Segundo Ahlman (2006), Garcia (2005) os modelos relacionados às águas pluviais como SWMM, Mouse, HEC-HMS e InfoWorks descrevem os processos físicos relacionados ao fluxo de água com grande capacidade de detalhamento da área de estudo.

A escolha pelo SWMM baseia-se no fato do *software* possuir o código aberto e apresentar uma boa correlação em estudos de inundação em áreas urbanas. O detalhamento das características do SWMM consta no próximo item.

3.12 SWMM

O modelo hidrológico SWMM foi desenvolvido na década de 1970 por Metcalf e Eddy, pela University of Florida e pela Water Resource Engineers (WRE), sob patrocínio da United States Environmental Protection Agency (EPA) (COLLODEL, 2009) sendo caracterizado como um modelo de chuva-vazão que simula a quantidade e a qualidade do escoamento superficial, podendo ser utilizado em um único evento chuvoso ou para a simulação contínua de longo prazo (LENHS, 2012).

Posteriormente foi incorporado à versão inicial diferentes elementos, com destaque para os blocos relacionados a estatística em 1981, diferentes tipos de seções transversais e domínio público do *software* em 1988.

Villanueva (2003) descreveu que era comum o uso de modelos ou métodos simplificados para simulação do escoamento livre ou de modelos hidrodinâmicos para verificação e para simulação das condições críticas de um projeto, sendo estes elementos vistos de forma segregadas e que, com avanços proporcionados pelas interfaces amigáveis e pelos computadores pessoais de *softwares* como o SWMM5, os processos e o tempo necessário para realizar uma análise foram simplificados.

Rossman (2015) descreveu que o SWMM modela os processos físicos que estejam relacionados ao escoamento superficial, a lençóis freáticos, ao roteamento de fluxo, ao roteamento da qualidade de água, de infiltração, do degelo e de água acumulada na superfície para modelar a quantidade e qualidade de água de escoamento de águas pluviais.

O SWMM consiste em um módulo dinâmico de precipitação-escoamento e um módulo hidráulico para sistemas canalizados. É usado para simulação de quantidade e qualidade de escoamento principalmente de áreas urbanas. O modelo SWMM tem sido amplamente utilizado para avaliar os efeitos da gestão das águas pluviais com base em sistemas de drenagem convencionais (ZOPPOU, 2001) ou LID (ELLIOT e TROWSDALE, 2007).

O SWMM consiste em três módulos, os módulos Serviço e Computacional interagem com o módulo Executivo. O primeiro é dividido em cinco blocos e o segundo em quatro,

conforme destaca a Figura 19, que segundo Carvalho (2011) a divisão em módulos possibilita o estudo de aspectos da hidrologia urbana.

Figura 19- Relação entre os módulos estruturais do SWMM.

Fonte: adaptado de Garcia (2005).

Os quatro módulos computacionais são Escoamento (*Runoff*), Transporte (*Transport*), Transporte estendido (*Extran*) e Armazenamento e tratamento (*Storage/ Tratament*). Os módulos podem ser sobrepostos e executados sequencialmente ou podem ser executados separadamente com os dados de ligação ou interface que estão sendo transferidos entre os blocos.

A descrição das finalidades de cada módulo computacional pode ser encontrada na literatura nos trabalhos publicados por Huber e Dickinson (1992) e na língua portuguesa por Garcia (2005), Garcia, Paiva (2005), Souza *et al.* (2012), Rocha (2013).

De forma simplificada, o módulo escoamento é o responsável pela transformação da chuva em vazão. Segundo Garcia e Paiva (2006) esse módulo permite a simulação quali-quantitativa do escoamento em áreas urbanas e permite a propagação do escoamento na superfície ou através de canais, podendo ser utilizado para simular um único evento ou eventos contínuos, além disso, o escoamento é obtido através de um reservatório não-linear para as sub-

bacia e pode ser representado pela combinação das equações de Manning e da continuidade. A resolução da equação diferencial não linear é efetuada através do processo iterativo de Newton-Raphson.

O módulo transporte é responsável pela propagação do escoamento na rede de drenagem segundo o conceito da onda cinemática.

O módulo transporte estendido é o bloco referente a modelagem hidrodinâmica, para tanto propaga o escoamento utilizando as equações de Saint Venant em condutos pressurizados ou não, tendo como variáveis a cota piezométrica e a vazão (GARCIA, 2005).

Segundo a publicação da EPA (1995), o módulo transporte estendido foi considerado o programa de simulação mais completo disponível no domínio público para sistemas hidráulicos de drenagem e simula redes ramificadas ou em loop; a água de retorno resultante de condições de maré ou não maré; o fluxo de superfície livre; o fluxo pressurizado ou as sobretaxas; a inversão do fluxo; transferência de fluxo por barris, os orifícios e instalações de bombeamento; e o armazenamento em instalações on-line ou off-line.

Conforme Garcia e Paiva (2006)

A solução se dá através de um esquema explícito, segundo o método de Euler modificado, e sua condição de estabilidade é definida pelo critério de Courant. O módulo simula os efeitos de jusante, fluxo reverso, fluxo a superfície livre e sob pressão. O sistema de drenagem é concebido como uma série de vínculos e nós. Os vínculos (links) transmitem fluxo entre os nós, sendo a variável dependente a vazão. Os nós têm características de armazenamento, sendo a equação da continuidade aplicada aos nós e a equação da quantidade de movimento ao longo dos vínculos (links).

Uma vez que o presente estudo se refere a simulação de eventos relacionados ao processo de extremos hidrológicos, não será objeto de estudo o último bloco referente à qualidade de água, módulo armazenamento e tratamento.

Além disso, o presente estudo aborda o item relacionado à quantidade de água em função do escoamento superficial, infiltração e propagação da vazão. Em relação a evapotranspiração, conforme destacado por Shinma (2015) esta pode ser considerada desprezível, uma vez que as simulações são realizadas por evento, e, durante eventos chuvosos, a evapotranspiração pode ser negligenciada devido à baixa incidência de raios solares e ao curto intervalo de tempos considerado nos eventos estudados.

A seguir, o presente estudo destaca os métodos empregados pelo SWMM para modelar a quantidade do escoamento superficial proveniente da chuva utilizado neste estudo.

3.12.1 Escoamento Superficial

Para o estudo do escoamento superficial, Shinma (2015) destacou que o SWMM considera cada área como dois reservatórios não lineares, sendo um permeável e outro não permeável. A vazão inicial desta área é proveniente da precipitação e/ou de vazão à montante da área analisada. Como elementos de saída, tem-se a infiltração, o escoamento superficial e a evaporação (desconsiderado neste estudo).

Segundo Rossman (2015), o escoamento superficial somente é possível quando a profundidade da coluna d'água é superior a capacidade de armazenamento da depressão (dp), ilustrado na Figura 20, sendo a altura da lâmina d'água da depressão calculada continuamente, assim como a vazão resultante é em função da Equação de Manning. Segundo o autor, a profundidade da lâmina é atualizada continuamente com o tempo, resolvendo numericamente a equação do balanço da água em cada sub- bacia.

Figura 20- Visão conceitual de escoamento superficial

Fonte: adaptado de Rossman (2015).

3.12.2 Infiltração

A infiltração neste modelo pode ser determinada em função de três modelos: Horton, Green-Ampt e Curve Number.

Segundo o manual, tem-se a seguinte descrição para cada um desses itens:

- Equação de Horton: Baseia-se em observações empíricas que mostram que a infiltração diminui exponencialmente de uma taxa máxima para uma taxa mínima ao longo de um evento de precipitação. Os parâmetros de entrada

exigidos por este método incluem as taxas de infiltração máxima e mínima, um coeficiente de decaimento que descreve a rapidez com que a taxa diminui ao longo do tempo, e um tempo que leva um solo completamente saturado para secar completamente;

- Método Green-Ampt: Baseia-se na premissa da existência de uma frente de umedecimento na coluna de solo, separando uma camada de solo com a umidade inicial de outra camada saturada na parte superior onde o solo é saturado. Os parâmetros necessários são o valor do déficit inicial de umidade do solo, a condutividade hidráulica do solo e o potencial matricial na frente de umedecimento.
- Método do SCS: Baseia-se em uma aproximação da metodologia desenvolvida por Serviço de Conservação dos Recursos Naturais (NRCS) para a estimativa do escoamento superficial em que a infiltração é determinada por valores contidos na tabela de Curvo- Número (CN).

Analisando as três opções propostas para a infiltração pelo modelo SWMM, nota-se que o SCS é o modelo mais simples, uma vez que os anteriores necessitam de estudos específicos. Considerando que as bacias urbanizadas apresentam em sua grande maioria o solo impermeabilizado, os valores estipulados pelo SCS para essas características podem ser utilizados, uma vez que descrevem essa situação.

3.12.3 Transporte hidráulico

O *software* SWMM possibilita ao usuário a modelagem do transporte hidráulico através das equações de conservação de massa e da quantidade de movimento para fluxo gradualmente variado não permanente, ou seja, através das equações Saint Venant.

A equação de Manning é utilizada em todas as opções de cálculo como o elemento para relacionar a vazão com a área e a profundidade, portanto determinando a vazão máxima do conduto naquele trecho, salvo quando em condutos circulares e escoamento pressurizados em que são utilizadas as equações de Hazen-Williams ou Darcy-Weisbach.

Em relação a Equação de Hazen-Williams (Equação 11):

$$Q = 1,318.C.A.R^{0,63}.S^{0,54} \quad (11)$$

Em que C é fator de atrito de Hazen-Williams que varia inversamente com a rugosidade da superfície e é fornecido como um dos parâmetros da seção transversal.

E para a Equação Darcy-Weisbach (Equação 12):

$$Q = \sqrt{\frac{8g}{f}} \cdot A \cdot R^{1/2} \cdot S^{1/2} \quad (12)$$

Em que, g é a aceleração da gravidade e f é fator de atrito de Darcy-Weisbach.

Conforme descreve o manual do SWMM, em condições de fluxo turbulento, o fator de atrito de Darcy-Weisbach é determinado a partir da altura dos elementos de rugosidade nas paredes do tubo (fornecido como um parâmetro de entrada) e do número de Reynolds do fluxo usando a equação Colebrook-White, sendo a escolha de qual equação ser usada é uma opção fornecida pelo usuário.

A seguir são apresentadas as características em função do Modelo de transporte hidráulico escolhido pelo usuário, sendo eles o Fluxo em Regime Uniforme, Modelo da Onda Cinemática e Modelo da Onda Dinâmica.

3.12.3.1 Fluxo em Regime Uniforme

Este modelo de fluxo considera o escoamento como uniforme e permanente e como neste modelo não há propagação de vazão, o fluxo é transferido integralmente do hidrograma de montante para o de jusante e por isso não leva em consideração o armazenamento da água em pontos do sistema, o ressalto hidráulico, perdas na entrada e na saída, efeitos de remanso e o fluxo pressurizado.

Além disso, destaca-se por ser apropriado para realizar análises preliminares utilizando simulações contínuas de longo prazo, em que se observa como característica do sistema de drenagem o fato de que cada nó possui somente um único conduto de saída.

3.12.3.2 Modelo de Onda Cinemática

Este modelo hidráulico resolve a equação da continuidade juntamente com uma forma simplificada da equação da quantidade de movimento em cada conduto.

Este modelo requer que a declividade da superfície livre da água seja igual à declividade do fundo do conduto.

Diferentemente da metodologia empregada no Fluxo em Regime Uniforme, este modelo permite que a água excedente no nó possa reentrar ao sistema quando a capacidade do conduto permitir, o que representaria um amortecimento e defasagem nos hidrogramas de saída com respeito aos hidrogramas de entrada nos condutos. Além disso permite também que a vazão e a área variem no espaço e no tempo.

Este módulo apresenta como desvantagem o fato de sua aplicação está restrita a rede ramificada, mas é adequado para incremento de tempo de cálculo relativamente grandes, da ordem de 5 a 15 minutos e também para o modelo de transporte com tempos longos de simulação.

3.12.3.3 Modelo da Onda Dinâmica

Este modelo resolve as equações completas de unidimensionais de Saint Venant e, portanto, teoricamente, gera resultados mais precisos por ser o resultado da aplicação da equação da continuidade e da quantidade de movimento nos condutos e da equação da continuidade dos volumes nos nós.

Este modelo pode considerar o armazenamento nos condutos, o ressalto hidráulico, as perdas nas entradas e saídas dos condutos, o remanso e o fluxo pressurizado e assim como o modelo de Onda Cinemática, permite que a água excedente no nó possa reentrar no sistema quando a capacidade do conduto permitir.

Pode ser aplicado a qualquer tipo de traçado da rede de drenagem, mesmo quando se observa nós com múltiplos divisores de fluxo a jusante ou às redes malhadas, sendo seu uso mais indicado para sistemas em que são importantes os fenômenos de ressalto hidráulico e remanso, originados por controles a jusante ou pela presença de elementos de regulação como orifícios e vertedores.

No entanto, a opção pela adoção desse método implica na necessidade de utilizar incrementos de tempo de cálculo muito menores, da ordem de 1 minuto ou menos.

3.12.4 Equações utilizadas pelo SWMM para o bloco Runoff e EXTRAN

Para simular o fluxo de água nos condutos, SWMM utiliza as equações de Saint Venant para um fluxo variável, turbulento e instável gradualmente variado.

Anjos *et al.* (2006) citam que estas equações são um caso particular das equações de águas rasas uma vez que descrevem propriedades de escoamentos tridimensionais integrando verticalmente as equações bidimensionais. Os referidos autores também destacam que elas são usadas comumente no estudo da hidrodinâmica de rios e regiões costeiras e podem ser deduzidas diretamente das equações de Navier-Stokes (GERBEAU e PERTHAME, 2001).

Porto (2006) cita que as equações estabelecidas por Saint Venant em 1870 constituem um sistema de duas equações, em derivadas parciais, em x e t , que descrevem, sob as hipóteses fixadas, os escoamentos não permanentes em canais.

Segundo este mesmo autor, a integração exata é muito complicada devido às equações diferenciais parciais do tipo hiperbólico, que devido à presença de termos não lineares, só admite soluções analíticas em problemas muito simplificados.

Na equação de Saint Venant, a topografia do fundo do canal é a variável que influencia as demais variáveis. O problema principal encontrado na resolução numéricas das equações de Saint-Venant refere-se à aproximação de tal termo, que deve ser feita de modo a assegurar a manutenção, pelo esquema numérico discreto, das características encontradas no problema físico (ANJOS *et al.* 2006).

Dentre os métodos numéricos empregados para este fim, destacam-se o método das características, métodos de diferenças finitas e métodos dos elementos finitos (PORTO, 2006).

Desta forma, é apresentado a seguir a metodologia utilizada pelo SWMM através dos Blocos Runoff e EXTRAN em relação a equação de Saint-Venant.

As equações de Saint-Venant representam os princípios de conservação do momento (Equação 13) e conservação da massa (Equação 14).

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial(Q^2/A)}{\partial x} + gA \frac{\partial H}{\partial x} + gAS_f = 0 \quad (13)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = 0 \quad (14)$$

Em que: x é distância ao longo do conduto; t é o tempo; A é área de seção transversal; Q é a taxa de fluxo (vazão), H é a cota piezométrica ($H=z+h$ em que z = elevação inversa e h = profundidade de água); S_f é a declividade da linha de energia.

Em relação dos elementos que são simulados em cada uma das partes que compõem o sistema de drenagem a ser simulado, o SWMM utiliza a equação do momento ao longo dos condutos e a equação da continuidade para os nós.

A Equação 13 pode ser modificada da seguinte forma nas Equações 15 e 16:

$$\frac{Q^2}{A} = V^2 A \quad (15)$$

$$\frac{\partial(V^2 A)}{\partial x} = 2AV \frac{\partial V}{\partial x} + V^2 \frac{\partial A}{\partial x} \quad (16)$$

Em que: V é a velocidade média do conduto.

Substituindo a Equação 16 na Equação 13, tem-se a Equação 17:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + 2AV \frac{\partial V}{\partial x} + V^2 \frac{\partial A}{\partial x} + gA \frac{\partial H}{\partial x} + gAS_f = 0 \quad (17)$$

Esta é a forma da equação do momento utilizada no módulo Extran e tem como variáveis dependentes Q , A , V , e H . A equação da conservação da massa pode ser modificada para substituir o segundo termo da Equação 17 usando $Q=A.V$ (Equação 18).

$$\frac{\partial A}{\partial t} + A \frac{\partial V}{\partial x} + V \frac{\partial A}{\partial x} = 0 \quad (18)$$

Multiplicando pela velocidade, tem-se a (Equação 19).

$$AV \frac{\partial V}{\partial x} = -V \frac{\partial A}{\partial t} - V^2 \frac{\partial A}{\partial x} = 0 \quad (19)$$

Visando eliminar $\partial V / \partial x$, substituindo a Equação 19 na Equação 17, obtém-se a equação utilizada ao longo dos condutos.

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + gAS_f - 2V \frac{\partial A}{\partial t} - V^2 \frac{\partial A}{\partial x} + gA \frac{\partial H}{\partial x} = 0 \quad (20)$$

Esta solução (Equação 20) representa a solução explícita iterativa, no entanto outras duas soluções podem ser utilizadas, sendo mais uma para a solução explícita iterativa e outra para a equação do momento que é derivada das equações 13 e 14. Para tanto, O termo $\partial (Q^2/A) / \partial x$ na Equação 11 é desenvolvido como um produto de Q e Q/A no lugar de V^2/A como na solução explícita.

$$\begin{aligned}\frac{\partial Q^2 A}{\partial x} &= Q^2 \frac{\partial (1/A)}{\partial x} + \frac{2Q}{A} \frac{\partial Q}{\partial x} \\ \frac{\partial Q^2 A}{\partial x} &= Q^2 \frac{\partial (1/A)}{\partial x} + 2V \frac{\partial Q}{\partial x}\end{aligned}\quad (21)$$

Novamente a equação da continuidade é usada para substituir o termo $\partial Q / \partial x$ na Equação 21. Essa alteração se faz necessária uma vez que no conduto, segundo as regras de modelagem do programa no bloco EXTRAN o escoamento deve ser assumido como constante. Desta forma, a equação do momento utilizada, no conduto, para as soluções explícita iterativa será a Equação 22:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + gAS_f - 2V \frac{\partial A}{\partial t} + Q^2 \frac{\partial (1/A)}{\partial x} + gA \frac{\partial H}{\partial x} = 0 \quad (22)$$

Segundo o manual do SWMM (EPA, 1995), as equações diferenciais básicas para o problema do fluxo vêm das equações de fluxo variadas e instáveis para canais abertos, também conhecidas como as equações de Saint-Venant ou de águas rasas (LAI, 1986 apud EPA, 1995).

De forma a obter uma rotina que possa ser processada, na rotina de processamento no modelo da Onda Dinâmica, a equação de momento é combinada com a equação de continuidade para produzir uma equação a ser resolvida ao longo de cada conduto em cada etapa de tempo.

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + gAS_f - 2V \frac{\partial A}{\partial t} - V^2 \frac{\partial A}{\partial x} + gA \frac{\partial H}{\partial x} = 0 \quad (23)$$

A declividade da linha de energia é definida pela equação de Manning

$$S_f = \frac{g\eta}{gAR_h^{4/3}} Q|V| \quad (24)$$

Em que Q é a vazão; η representa o Coeficiente de rugosidade de Manning, A é a área da seção transversal; R_h o raio hidráulico e S_f a declividade da linha de energia.

Ao utilizar o sinal de valor absoluto, S_f se torna uma quantidade direcional e assegura que a força de fricção sempre oponha o fluxo.

Substituindo na Equação 20 e expressando em diferença finita tem-se a Equação 25:

$$Q_{t+\Delta t} = Q_t - \frac{k\Delta t}{R^{4/3}} |V| Q_{t+\Delta t} + 2V(\Delta A/\Delta t)_t \Delta t + V^2[(A_2 - A_1)/L]\Delta t - gA[(H_2 - H_1)/L]\Delta t \quad (25)$$

Em que: Δt é o intervalo de tempo; L é o comprimento do conduto.

Resolvendo a Equação 25 para $Q_{t+\Delta t}$, tem-se a diferença finita final a forma da equação dinâmica do escoamento na Equação 26

$$Q_{t+\Delta t} = \frac{1}{1 + \frac{k\Delta t}{R^{4/3}|V|}} [Q_t + 2V(\Delta A/\Delta t)_t \Delta t + V^2[(A_2 - A_1)/L]\Delta t - gA[(H_2 - H_1)/L]\Delta t] \quad (26)$$

Na Equação 26, V , R e A são médias ponderadas dos valores no final do conduto no tempo t e $(\Delta A/\Delta t)_t$ é a derivada do tempo para os passos de tempo anteriores.

As variáveis desconhecidas na Equação 26 são $Q_{t+\Delta t}$, H_2 e H_1 . As variáveis V , R e A podem ser relacionadas com Q e H . Por essa razão, outras equações são requeridas relacionando Q e H . Esta pode ser obtida pela equação da continuidade em um nó, representada na Equação 27:

$$\frac{\partial H}{\partial t_1} = \sum \frac{Q_t}{A_{S_t}} \quad (27)$$

Representada em diferenças finitas, tem-se a representação ilustrada na Equação 28, em que A_s representa a área de superfície do nó.

$$H_{t+\Delta t} = H_t + \sum \frac{Q_t}{A_{S_t}} \Delta t \quad (28)$$

Note-se que, para uma geometria de seção transversal conhecida, a área A é uma função conhecida da profundidade (y) que, por sua vez, pode ser obtida altura da lâmina d'água no conduto (H). A inclinação do fundo do canal pode ser obtida através da equação de Manning (Equação 29).

$$Q = \frac{1}{\eta} A R_h^{2/3} \sqrt{S} \quad (29)$$

Em que: Q é a vazão; η representa o Coeficiente de rugosidade de Manning; A é a área da seção transversal; R_h é o raio hidráulico e S é a declividade.

3.12.4.1 Estudos de drenagem urbana usando o SWMM

Villanueva (2003) descreve a complexidade dos estudos relacionados às redes de drenagem e que os modelos hidrodinâmicos (equações complexas de Saint Venant) possuem a vantagem de que podem representar praticamente todos os fenômenos físicos relevantes que condicionam o escoamento nessas redes de drenagem urbana, citando entre as ferramentas o SWMM.

Zoppou (2001) em um estudo comparando doze modelos que simulam a qualidade e a quantidade de água cita o SWMM como um modelo que possui as funções de planejamento e design, destacando também o domínio público do *software*, sendo assim, este modelo atende as demandas inicialmente enumeradas para a escolha do *software*.

O uso desse *software* pode ser observado em diversos estudos relacionados a drenagem urbana, em função da sua aplicação para concepção e dimensionamento de componentes da rede de drenagem para controle de inundações e delimitação de zonas de inundação em leitos naturais (LENHS, 2012). A sua aplicação pode ser observada nos estudos desenvolvido por Hsu, Chen e Chang (2000) no qual utilizam o SWMM e um modelo 2D para avaliação dos processos de inundação, Collodel (2009), Jang *et al.* (2007).

Para a simulação dos processos hidrológicos, o SWMM permite a inserção do sistema de drenagem existente, além de emitir um relatório apontando os locais em que haverá o extravasamento do canal após a modelagem. A vantagem de se utilizar este *software* é que ele permite, por meio da criação de um banco de dados, simular os processos de precipitação sobre uma área urbanizada, assim é possível calibrar o modelo em função dos fatos históricos observados.

Em um estudo realizado por Babaei *et al* (2018) na cidade de Uremia, Noroeste do Irã, teve como objetivo analisar o pico de escoamento através do SWMM, sendo este estudo motivado após vários eventos de precipitação extrema e que ocasionaram eventos de inundação. Como resultado, foi possível verificar que o SWMM apresentou acurácia ao indicar as sub-bacia urbanas em que ocorriam os eventos.

O estudo realizado por Xing *et al.* (2016) demonstrou a eficiência do uso de SWMM para análises de 1820 cenários urbanos e implantação de instalações de armazenamento e infiltração do escoamento. Em seu estudo foi possível verificar o uso desta ferramenta no uso da gestão do solo.

O SWMM também apresentou bons resultado, com coeficiente de correlação R médio de 0,95, em uma simulação realizada por Garcia e Paiva (2006) na bacia hidrográfica do Arroio

Cancela, Santa Maria- RS, cujo objetivo era avaliar a aplicabilidade do modelo SWMM em bacia hidrográfica urbana.

Souza *et al* (2012) comparando o Modelo SWMM com o HEC- HMS utilizando a Bacia do Córrego Samambaia, Goiânia - GO, identificou que o uso do SWMM é mais adequado para a modelagem de sistemas de drenagem de bacias urbanas.

Em um estudo realizado por Formiga *et al.* (2016) foi realizada a calibração do SWMM através de algoritmos evolucionários, utilizando a bacia hidrográfica do Arroio Cancela em Santa Maria, Rio Grande do Sul, através do modelo de infiltração de Horton, o estudo demonstrou que o modelo SWMM é passível de ser empregado, principalmente para eventos de grande intensidade, em bacias pequenas sem informações de vazão, uma vez que o modelo tem uma boa representatividade física do problema.

3.13 Análise de sensibilidade.

A análise de sensibilidade é uma ferramenta importante para que o modelador possa refletir sobre as incertezas do seu modelo, além de possibilitar os ajustes e assim minimizar eventuais erros e interpretações equivocadas.

Uma das formas de se analisar o quão o resultado obtido no estudo, proveniente do desenvolvimento de uma ferramenta está variando em relação ao observado é através da análise do Erro.

Análises dos resultados obtidos através do Erro Médio (EM) e da Raiz do Erro Médio Quadrático (REMQ) em um estudo proposto por Moura *et al.* (2010) que objetivou avaliar o desempenho do modelo operacional Eta, com os benefícios adquiridos no procedimento de assimilação de dados PSAS, em reproduzir os campos de precipitação e pressão ao nível médio do mar se mostraram eficientes para comparação de produtos de precipitação obtidos por satélites.

Marujo *et al.* (2010) utilizaram a Raiz do Erro Médio Quadrático (REMQ) nas análises comparativas realizadas em um estudo sobre a previsão de vento em Portugal voltado para o uso na geração de energia eólica e o uso desta metodologia se mostrou satisfatório para análise dos resultados obtidos.

3.13.1 Análise de sensibilidade de elementos do SWMM

Um importante elemento a ser descrito é a influência que determinados blocos de processamento do SWMM têm sobre o resultado final. As informações a seguir relatam os elementos que apresentaram maior influência nos estudos utilizando o *software* SWMM para modelagem hidráulica.

A análise de sensibilidade realizada por Zaghoul (1983) focou nos blocos Runoff e Transport do modelo SWMM e investigou qual o nível de discretização que deve ser empregado na bacia hidrográfica.

Para a análise de sensibilidade do bloco Runoff, Zaghoul encontrou que o parâmetro mais sensível é a porcentagem de área impermeável, onde um aumento nesta porcentagem tende a um acréscimo linear no pico e no volume do hidrograma. O segundo parâmetro com maior sensibilidade é a largura do escoamento superficial, devendo-se ter cuidado na estimação desta largura.

Para o bloco Transport, Zaghoul (1983) verificou que os parâmetros com maior sensibilidade foram: o comprimento do conduto ou rio e o coeficiente de rugosidade de Manning do conduto ou rio, sendo o primeiro considerado como o mais importante. Zaghoul (1983) ressalta que a exatidão da simulação para bacias discretizadas é mantida pelo uso cuidadoso dos parâmetros das sub - bacias. A simulação discretizada implica em dificuldades devido ao aumento das informações necessárias. Entretanto, a simulação discretizada nos ajuda no planejamento antes da execução de um projeto em algum local da bacia.

Além disso, ele ressaltou que para uma simulação simplificada usando uma única bacia hidrográfica deve se reduzir a largura hidráulica para compensar a perda de armazenamento no conduto e aumentando o armazenamento na superfície. O autor concluiu que o uso da bacia hidrográfica simplificada e o bloco de escoamento fornecem resultados comparáveis com a simulação detalhada, o que favorece a simulação em áreas cuja a rede de drenagem é extensa e demandaria maior tempo computacional.

Em um estudo realizado por Garcia (2005) na bacia hidrográfica do Arroio Cancela em Santa Maria – RS, o parâmetro que apresentou maior sensibilidade à vazão de pico foi o coeficiente de rugosidade de Manning, em relação ao módulo Extran, principalmente para valores baixos do coeficiente. Em relação ao Runoff, os parâmetros que apresentaram maior sensibilidade foram a porcentagem de área impermeável, a largura do escoamento das sub - bacias e o coeficiente de Manning para as sub - bacias. Selvalingam *et al.* (1987) apud Garcia

(2005) citaram que em um estudo realizado para uma bacia com área de 6,11 km² em Singapura apresentou resultados satisfatórios para os módulos Extran e Runoff.

Beling *et al.* (2011) em um estudo em quatro bacias com diferentes características no município de Santa Maria, a análise de sensibilidade dos parâmetros mostrou ser variável de acordo com as características físicas das bacias, além disso, os parâmetros que mais influenciaram o pico de escoamento e os volumes foram altura de armazenamento e à porcentagem de áreas impermeável no bloco Runoff. Além disso, os autores destacaram que o bloco Extran apresentou problemas de estabilidade que foi resolvido pela redução do tempo ou agrupando elementos similares de sub - bacias ou canais.

Choi e Ball (2002) mostram que os parâmetros do escoamento superficial são influenciados por diversos fatores relacionados com as características de cada sub - bacia.

Em um estudo no arroio verificou através da análise da sensibilidade que o módulo Runoff, a porcentagem de área impermeável foi o parâmetro que apresentou maior sensibilidade, quanto à vazão de pico, seguido da largura do escoamento das sub - bacias e do coeficiente de rugosidade de Manning para as sub - bacias. Quanto ao volume escoado os parâmetros mais sensíveis foram a infiltração da equação de Horton e porcentagem de área impermeável. No módulo Extran, o parâmetro que apresentou maior sensibilidade à vazão de pico foi o coeficiente de rugosidade de Manning, tendo maior sensibilidade para valores baixos.

Desta forma, foi possível inferir que diferentes elementos podem ocasionar oscilações consideráveis no resultado final da simulação utilizando o SWMM e que a adequação dos parâmetros utilizados pelo operador irá fornecer um melhor ajuste para as simulações.

3.14 Método Monte Carlo

Quando se utiliza um modelo matemático para descrever um sistema, é possível que o modelo seja complexo demais, ou então, não permita uma solução analítica e quando o modelo envolve amostragem aleatória de uma distribuição probabilística, o método é designado Simulação de Monte Carlo (DONATELLI e KONRATH, 2005).

Desenvolvido por John Von Neumann e Stanislaw Ulam em 1949, o método Monte Carlo permite simular qualquer processo que dependa de fatores aleatórios e probabilidade que podem ou não sofrer com a insuficiência de dados. Para tanto, este processo é repetido a critério do operador e o resultado é obtido por meio de técnicas de estatística, criando assim uma sub-

amostra representativa (TABOSA, SARAIVA JÚNIOR, COSTA, 2011; FERNANDES, PEIXOTO, KAISER, 2018; SILVA, KAISER, PEIXOTO, 2018).

O método de Monte Carlo pode ser adaptado para descrever inúmeros sistemas, desde partículas elementares até dinâmicas de galáxias; a particularidade para cada sistema dependerá das regras impostas aos sorteios (LÓPEZ-CASTILLO e SOUZA FILHO, 2007), sendo por esta razão que é possível observar a aplicação deste método em diferentes áreas do conhecimento, como por exemplo na área econômica, estatística, químicas e também na área da meteorologia, entre outros.

Considerando que o método Monte Carlo auxilia gestores a tomarem decisão frente a um conjunto de fatores de risco, ela também pode ser utilizada para que os gestores de centros de monitoramento de risco relacionados aos desastres ambientais tomem decisões quanto a emissão ou não de um alerta de risco.

Tabosa, Saraiva Júnior e Costa (2011) destacaram que a metodologia Monte Carlo auxilia na tomada de decisões em processos cujas variáveis tenham comportamento estocástico e, portanto, é aplicável em problemas que envolvam riscos e incertezas.

Sobre essa perspectiva, também se observa o uso dessa ferramenta em estudos relacionados a sistema atmosférico, reservatórios de água (ANDRADE JUNIOR, FRIZZONE e SENTELHAS, 2001; TOMAZ; 2005), uma vez que este é um processo estocástico e determinístico e não pode ser representado apenas por valores máximo, mínimo ou médio de uma determinada amostra de precipitação.

Um estudo realizado por Hong *et al.* (2006) utilizou o método Monte Carlo para determinar erro de estimativa de precipitação por satélite e avaliar a influência da propagação do erro na simulação hidrológica tendo como resultado a percepção de que em função do quadro proposto, a metodologia fornece quantificação mais realista do erro de estimativa de precipitação e oferece melhor avaliação da incerteza da propagação do erro na simulação hidrológica.

O uso da metodologia Monte Carlo em estudos ambientais pode ser observado no estudo realizado por Fernandes, Peixoto e Kaiser (2018), que aplicaram esse método para avaliar a chuva desencadeadora de desastre natural nas cidades de São José dos Campos, Bauru, Jaú e Sorocaba, e para isso os autores utilizaram o *software* @Risk, que se caracteriza por ser voltado para análise financeira.

O estudo visou a utilização de dados de estimativa de precipitação do produto Merge para se determinar um possível valor de precipitação para a área de estudo, a ferramenta Monte

Carlo foi utilizada para determinar o valor de precipitação a ser utilizado na simulação hidráulica na ferramenta SWMM.

A escolha desta metodologia para o desenvolvimento de uma ferramenta foi baseada na complexidade dos sistemas meteorológicos e da necessidade de se estimar um valor de precipitação para ser simulado, visando analisar o sistema hidráulico da área urbana de forma a anteceder a possibilidade de eventos hidrológicos na área de estudo.

4 ÁREA DE ESTUDO

O presente estudo foi desenvolvido na bacia hidrográfica do Córrego das Lages que possui uma área de 26,38 km², a qual pertence à bacia hidrográfica do Rio Uberaba localizada no município de Uberaba - MG, destacada na Figura 21 (PMU, 2009).

A bacia do Rio Uberaba possui uma área de 2.374,5 km², que corresponde a 12,6% da bacia hidrográfica do baixo Rio Grande. Por sua vez, a bacia do baixo Rio Grande, identificada como GD8, está localizada na mesorregião sul-sudoeste do Estado de Minas Gerais e possui uma área de drenagem de 18.784 km², a qual é pertencente à grande bacia hidrográfica do rio Paraná.

A cidade de Uberaba é chamada de “cidade das sete colinas”, pois seu relevo se caracteriza pela existência de alguns aclives, denominados altos, sendo que alguns, precisamente sete, são destacados: Alto de Cuiabá, Alto da Matriz, Alto do Barro Preto, Alto da Misericórdia, Alto dos Estados Unidos, Alto da Estação, Alto do Fabrício (DANTAS, 2013).

Segundo Moraes (2001), o ponto mais alto da bacia está a 836,70m de altitude, situado nas coordenadas (19°44'23,67"S, 47°53'35,58"W). O ponto mais baixo da bacia, o qual naturalmente corresponde à sua foz, situa-se na altitude 694,60 m; latitude 19°43'26,17"S e na longitude 47°57'20,12"W. A declividade máxima da bacia é de 26,5% localizado no córrego das Bicas, afluente do córrego das Lages. A largura máxima é 7889m, tendo 6.25m de comprimento.

Uma outra característica é que essa bacia possui uma densidade de drenagem de 0,97 km/km² (CORRÊA, 2003), que é a relação entre o comprimento da rede de drenagem com a área da bacia hidrográfica e conforme descrevem Cardoso (2006), Torres *et al.* (2007), Horton, (1945) e Langbein (1947) apud Nery (2016). Este parâmetro estima a maior ou menor velocidade com que a água deixa a bacia hidrográfica, sendo assim, o índice indica o grau de desenvolvimento do sistema de drenagem da bacia.

Em locais onde a infiltração é mais dificultada, ocorre maior escoamento superficial, sendo possível maior esculturação da rede hidrográfica, tendo como consequência uma densidade de drenagem mais alta (PISSARRA *et al.*, 2004). A densidade de drenagem da bacia do córrego das Lages caracteriza-se por ser uma bacia com drenagem regular.

A declividade da cidade e o formato da bacia hidrográfica do córrego das Lages são elementos que favorecem naturalmente as enxurradas, uma vez que a bacia possui um formato aproximadamente circular cujo fator de forma K_f é igual a 0,64 e coeficiente de compacidade K_C é igual a 1,45. Sousa (2008) cita que o município de Uberaba está inserido na unidade

geotectônica Serra Geral, dividido nos grupos São Bento e Bauru e segundo a autora o grupo São Bento se divide nas formações Botucatu e Serra Geral, e o grupo Bauru se divide nas formações Adamantina, Marília e Uberaba (com ocorrência apenas na cidade de Uberaba).

As encostas íngremes e as áreas aproximadamente iguais a de suas sub- bacias; todos os aspectos facilitadores da concentração do escoamento superficial (SOUSA, 2008; SOUSA *et al.*, 2015) propiciando um curto tempo para o escoamento e um aumentando da velocidade com que a água escoas pelas microbacias do córrego Lages.

A Figura 21 ilustra a localização da área de estudo e também destaca um estudo realizado pela Prefeitura Municipal de Uberaba e pelo Centro Operacional de Desenvolvimento e Saneamento de Uberaba (2015) em que foram identificadas as áreas propensas e críticas à inundação.

Figura 21- Área urbana do município de Uberaba, com destaque para a BH do córrego das Lages e também as áreas identificadas no Plano Municipal de Saneamento Básico relacionadas ao processo de Inundação.

4.1 Urbanização da Bacia do Córrego das Lages

Historicamente, Uberaba era um local estratégico para aqueles que buscavam ouro na província de Goiás e Cuiabá (SILVEIRA, 2015), fato esse que favoreceu a ocupação do município devido à facilidade de acesso a diversas províncias no interior do Brasil, e também o acesso à água, principalmente do Córrego das Lages, conforme destaca Dantas (2013):

Em um terreno de topografia acidentada, desenvolveu-se Santo Antônio de Uberaba, arraial próximo da estrada geral que levava aventureiros à província de Goiás, à procura de ouro. Poucas construções em meio à paisagem típica de cerrado – relevo acidentado, exuberantes fauna e flora, abundância de aguadas – e do alto das colinas em direção ao Córrego das Lages, ia se configurando um cenário promissor. A proximidade dos caminhos que levavam a diferentes destinos contribuiu para o afluxo de pessoas que foram adensando o arraial e, por volta de 1840, é possível afirmar que o urbano existia naquelas paragens.

Dantas (2013) apontou a importância do córrego das Lages ao destacar que o seu trecho de montante era utilizado para abastecimento de água para consumo humano e lazer, e também destacou que, na parte mais plana, o córrego já era local de destinação de lixo.

Na década de 1910, os canais ainda eram abertos, como pode ser observado na Figura 22, e doenças relacionadas a ausência de saneamento ocorreram na cidade, o que levou a um apelo da população para a solução do problema. Na década de 1920, o engenheiro sanitário Saturnino de Brito é contratado para a elaboração do projeto “Saneamento e Planta de Expansão de Uberaba” que previu a canalização dos córregos existentes na cidade, obra essa inicializada no córrego das Lages em 1937, conforme ilustra a Figura 23 (SILVA *et al.* 2014).

Figura 22- Córrego das Lages na década de 1910.

Fonte: Arquivo Público de Uberaba (APU).

Figura 23- Canalização do Córrego das Lages em 1938.

Fonte: O melhor de Uberaba (2014).

Segundo Pinheiro (1994) apud Silveira (2015), a obra também contemplava calçamento de paralelepípedos, meios-fios e passeios de ladrilhos na avenida Leopoldino de Oliveira e parcialmente nas ruas Segismundo Mendes e Artur Machado.

Ao longo das próximas décadas, este modelo de urbanização também foi replicado aos demais córregos que compunham a área central do município, com edificações verticais e canalização de cursos d'água (SILVEIRA, 2015), conforme pode ser observado na Figura 24 que ilustra o Córrego Capão da Igreja, localizado na Avenida Guilherme Ferreira que teve sua canalização iniciada em 1938 e concluídas na década de 1970 (APU).

Figura 24 -Ocupação Urbana no entorno do Córrego Capão da Igreja (1970).

Fonte: APU (2015).

A canalização do córrego das Lages e demais córregos permitiu também o lançamento dos efluentes domésticos e das águas pluviais no canal, o que resultou em uma solução não

definitiva para o problema, uma vez que o mal cheiro e os eventos de inundação foram registrados (DANTAS, 2013; RODRIGUES, 2016).

Além dos problemas de ordem sanitária, os problemas relacionados ao trânsito na Avenida Leopoldino de Oliveira, que margeava o córrego, foram determinantes para o fechamento do canal em 1967 (RODRIGUES, 2016) a Figura 25 ilustra o processo de fechamento do canal das Lages.

Figura 25- Fechamento do canal do córrego das Lages

Fonte: O melhor de Uberaba (2014).

A Tabela 4 representa um resumo da expansão urbana de Uberaba, assim como a Figura 26 que ilustra a expansão sobre o mapa da área urbana do município.

Tabela 4- Expansão Urbana de Uberaba (MG) -1822 a 2000.

Período	Na Bacia Córrego das Lajes	Fora da bacia córrego das Lajes
1822 a 1922	Partes altas e planas do seu interior	
1922 a 1959	Partes altas e planas disponíveis da região mediana	Primeiras casas no Alto da Boa Vista
1959 a 1970	Partes lindeiras aos talvegues e altos ainda disponíveis	Residências urbanas e loteamentos
1970 a 1995	Concentração e valorização dos imóveis localizados nos talvegues com a presença das avenidas baixas canalizadas	Extrapolação da cidade e de sua infraestrutura aos bairros fora da bacia
1995 a 2000	Ocupação de mais 70% da bacia restando, apenas, a área baixa próxima ao rio Uberaba	Vários loteamentos novos, exclusivamente, fora da bacia

Fonte: Prefeitura Municipal de Uberaba (Recobrimentos Aerofotogramétricos, anos 1959, 1975 e 1984) apud Rodrigues (2016)

A Figura 26 permite visualizar de forma espacial as informações da Tabela 4, em que é possível verificar que nas últimas décadas grande parte da bacia do córrego das Lajes já se encontrava urbanizada e como foi ilustrado através das Figuras 27 a 30, os processos adotados durante a urbanização da bacia demonstraram que as medidas adotadas culminaram com a canalização e fechamento do curso d'água e isso associado ao processo de urbanização da bacia favorece à ocorrência de eventos hidrológicos.

Figura 26- Sobreposição dos limites de ocupação na bacia do córrego das Lajes

Fonte: adaptado de Moraes (2001) apud Sousa (2008).

O fechamento do canal formou uma galeria com capacidade de $126\text{m}^3/\text{s}$ que se mostrou insuficiente ao longo dos anos para o escoamento das águas pluviais, ocasionando problemas de enxurrada na área central do município.

Segundo Silveira (2015), no início dos anos 2000, com a ocupação quase total da Bacia do Córrego das Lajes, praticamente todos os fundos de vale e seus cursos d'água foram canalizados e transformados em avenidas, agravando o problema das enchentes, pelo aumento da área impermeável dentro da bacia.

As Figuras de 27 a 30 ilustram alguns eventos de inundação que ocorreram ao longo das últimas décadas.

Figura 27- Enchente na Av. Santos Dumont com a Rua São Sebastião em 1980.

Fonte: APU (2015)

Figura 28- Enxurrada na Av. Leopoldino de Oliveira em 18/11/1996.

Fonte: APU (2015)

Figura 29- Enxurrada no centro de Uberaba/MG em 2002.

Fonte: Jornal da Globo Emissora: Rede Globo Produção: TV Ideal - Rede Integração (2016)

Figura 30- Temporal surpreende população, inunda vias e imóveis, e arrasta veículos em Uberaba em 27/11/2017

Fonte: Estados de Minas Gerais (2018).

Em função dos processos de ocupação e impermeabilização do solo na Bacia do córrego das Lages, os eventos hidrológicos se tornaram corriqueiros e a Prefeitura Municipal de Uberaba, através do Projeto Água Viva, implantou um reservatório no córrego Santa Rita, afluente do córrego das Lages e ampliou a galeria do córrego das Lages, conforme ilustra a Figura 31. A vazão para $242,1\text{m}^3/\text{s}$, calculada para uma chuva de Tempo de Retorno de 25 anos.

Figura 31- Obras de ampliação do canal do córrego das Lages em 2012.

Fonte: Arquivos do Codau (2014).

Esperava-se que o problema relacionado às enchentes fosse sanado e mesmo estando em sua etapa final, restando apenas a ampliação do canal da Avenida Santos Dumont, que representa o afluente Córrego das Bicas e a retirada do efluente sanitário lançado irregularmente neste canal. No entanto, foram observadas inundações nas avenidas em que o projeto foi concluído em dezembro de 2012 e janeiro de 2013. Em um estudo realizado por Alves *et al.* (2014), o autor relata, a necessidade de implantação de novas medidas de contenção para impedir as enchentes urbanas pois demonstra, através das simulações realizadas, que o atual sistema é responsável por reter 4% da chuva, e as medidas propostas nas simulações aumentariam esse percentual em 18%, impedindo assim as enchentes.

4.2 Canal do Córrego das Lages

Conforme demonstrado no item anterior, o córrego das Lages foi alterado ao longo dos anos devido aos processos de linearização, projetos higienistas, ampliação das vias de tráfego dos veículos, e por fim ampliação dos canais fechados através do Projeto Água Viva da Prefeitura Municipal de Uberaba.

As dimensões dos canais utilizados no presente estudo estão discriminadas no Anexo I. Estes dados foram disponibilizados pelo Centro Operacional de Desenvolvimento e Saneamento de Uberaba – CODAU. A Figura 32 e a Tabela 5 apresentam a identificação e localização dos nomes dos córregos pertencentes à bacia hidrográfica do Córrego das Lages.

Figura 32 - Córregos e tributários da Bacia Hidrográfica do Córrego das Lages

Fonte: Codau (2005)

Na Tabela 5 estão identificados os nomes dos córregos de cada uma das sub - bacias citadas na Figura 32, além dos dados referentes a áreas de cada uma delas.

Os pontos R1 e R2 apontados na Figura 32 referem-se aos reservatórios de retenção de água, sendo sua construção em visando a minimização dos impactos ocasionados pela água das chuvas na bacia do córrego das Lages.

Tabela 5 - Identificação dos córregos e tributários da bacia hidrográfica do Córrego das Lages.

Nome do tributário	Sub- bacia	Área [km²]
Córrego da Fazenda Modelo	1	2,94
Córrego das Mercês	2	1,89
Córrego Pontilhão	3	0,94
Córrego da Quinta da Boa Esperança	4	1,3
Córrego do Comércio	5	0,5
Córrego das Lages	6	4,38
Córrego Santa Rita	7	1,01
Córrego Olhos d'Água	8	0,46
Córrego das Lages	9	0,54
Córrego das Lages	10	1,3
Córrego Barro Preto	11	1,61
Córrego Capão da Igreja	12	1,36
Córrego Capão da Igreja	13	1,36
Córrego das Bicas	14	2,85
Córrego da Manteiga	15	1,32
Córrego da Av. Pedro Salomão	16	0,84
Córrego da Manteiga	17	0,42
Córrego das Bicas	18	1,14
Córrego das Lages	19	0,23

Fonte: Codau (2005).

Em relação aos dados fluviométricos, o presente estudo verificou que até janeiro de 2019 não existia um posto fluviométrico na bacia do córrego das Lages.

4.3 Dados de precipitação e fluviometria na bacia do córrego das Lages.

A instalação no município de um mecanismo de mensuração da precipitação é de extrema importância para o monitoramento dos eventos hidrológicos.

No município de Uberaba, existem duas estações sob a responsabilidade do INMET. A Estação Meteorológica de Observação de Superfície Convencional Uberaba, código OMM 83577 entrou em operação em 11 de outubro de 1913, localizada na latitude de -19.737222° e longitude de -47.949722° a uma altitude de 737 metros. A segunda é a Estação Meteorológica de Observação de Superfície Automática Uberaba-A568, que entrou em operação em 18 de maio de 2017, localizada na latitude de -19.710028° e longitude de -47.961889° a uma altitude de 778 metros.

No município, conforme ilustra a Figura 33, não há cobertura de radar no raio de 250 km que possa servir como um elemento no processo de monitoramento da precipitação. Sendo

assim, apenas os dados de satélite serão utilizados para simular as precipitações que poderão ocorrer sobre a bacia hidrográfica.

Em relação a posto fluviométricos, no município de Uberaba (MG) não há nenhum posto fluviométrico na bacia hidrográfica do córrego das Lages.

Figura 33- Cobertura dos radares no entorno do município de Uberaba (MG).

5 MATERIAL E MÉTODOS

Para o desenvolvimento de uma ferramenta voltada para a gestão de risco, especificamente para o risco relacionado aos eventos hidrológicos de enxurrada em área urbana é necessário o conhecimento da bacia hidrográfica a ser estudada, do histórico de eventos para a calibração da modelagem hidráulica e de uma ferramenta computacional que possibilite a simulação.

Este capítulo inicia-se apresentando como foram obtidos os dados de precipitação de cada pixel das imagens do Merge (Cptec/Inpe) e a delimitação das áreas Alfa e Beta utilizadas no estudo. A segunda etapa refere-se à elaboração de uma ferramenta computacional utilizada para inserir dados de precipitação do Merge pela metodologia Monte Carlo no *software* SWMM, incluindo a delimitação das subáreas e dos fatores de multiplicação utilizados neste estudo.

Posteriormente o capítulo aborda a delimitação temporal do evento hidrológico estudado e a identificação das quatorze estações automáticas do INMET localizadas nas áreas de abrangência do estudo.

O estudo também descreve a metodologia utilizada para a obtenção dos valores estimados a partir de precipitação do produto Merge. A quarta etapa aborda a metodologia utilizada para a comparação entre os valores de precipitação das estações do INMET com os dados de precipitação do pixel do Merge em que a estação está inserida através da análise do Erro Médio (EM) e da Raiz do Erro Médio Quadrático (REMQ).

A quinta etapa deste capítulo, o estudo aponta como foram obtidos os dados hidráulicos, de infiltração do solo e os valores referentes à largura do escoamento nas sub - bacias, informações estas necessárias para a simulação hidráulica no modelo SWMM.

Ao final, o estudo identifica os nós que foram utilizados para a comparação entre os valores obtidos no nível da água na bacia hidrográfica do córrego das Lages dos valores estimados do evento hidrológico e dos valores estimados pela simulação do SWMM.

Os dados utilizados para o desenvolvimento deste estudo foram obtidos à partir de:

- Informações sobre as características das redes pluviais da bacia do córrego das Lages no município de Uberaba disponibilizadas pelo Centro Operacional de Desenvolvimento e Saneamento de Uberaba- CODAU;
- Dados de precipitação do Produto Merge, disponibilizados pelo CPTEC/INPE através do link: < <http://ftp.Cptec.inpe.br/modelos/io/produtos/MERGE>>;

- Dados de precipitação disponibilizados pelo INMET das estações meteorológicas;
- Dados de infiltração nas áreas permeáveis foram baseados em arquivos da PMU relativos a estudos realizados nos canais de drenagem do córrego das Lages e também através da análise de imagem de alta resolução disponibilizadas no Google Earth. (GOOGLE EARTH. <<http://earth.google.com/>>. [18 de janeiro de 2018]).
- Informações de mídias sociais e do 8º Batalhão do Corpo de Bombeiros Minas Gerais em Uberaba, sobre as datas em que ocorreram os eventos de enxurrada.

As ferramentas utilizadas para o desenvolvimento deste estudo foram:

- O *software* SWMM de simulação hidráulica e hidrológica na versão 5.1;
- O *software* AUTOCAD 2014 para visualização dos arquivos em formato *dwg*;
- O *Software* OpenGrADS para transformação dos dados binários em imagens no formato *tif* na versão 2.0;
- O *software* ArcGis na versão 10.1 para identificação dos pixels e os valores de precipitação e geração do mapa hipsométrico e de declividade
- O programa Google Earth Pro para identificação das áreas verdes na área de estudo;
- Interface gráfica da biblioteca Tkinter para o desenvolvimento do código em Python; e
- O programa Excel para análise das variações da precipitação entre os valores observados na rede do INMET e estimados pelo produto Merge.

5.1 Delimitação das áreas Alfa e Beta

A delimitação de cada uma das áreas foi influenciada pelo tamanho da célula do produto MERGE (CPTEC/INPE), por exemplo, se a área era inferior a um pixel do MERGE, ela foi considerada como um todo, não havendo repartição do pixel do MERGE. O produto Merge possui resolução espacial de 0,25°.

O presente estudo limitou duas áreas, tendo como referência a região da Bacia Hidrográfica do Córrego das Lages. A primeira área foi denominada Alfa e possui uma área de

abrangência maior que a segunda, denominada Beta. Destaca-se também o fato que a área Alfa foi escolhida de forma a conter as quatorze estações do INMET próximas ao município de Uberaba (MG) para análise comparativa enquanto que na área Beta foi delimitada por conter a estação do INMET Uberaba.

O presente estudo considerou que a delimitação em apenas duas áreas seria suficiente para estimar a precipitação que poderia vir a ocorrer no município de Uberaba. A delimitação de uma área maior que as áreas estudadas poderia então fomentar a eventos

5.2 Desenvolvimento da ferramenta Monte Carlo em Phyton

Após a delimitação das áreas Alfa e Beta foi necessário elaborar as etapas a serem em utilizadas na ferramenta Monte Carlo de forma a obter ao final do processo um produto final que pudesse ser utilizado pelo *Software* SWMM. Os elementos a seguir descrevem os passos elaborados para essa etapa neste estudo.

5.2.1 Identificação dos pixels

Para identificar cada pixel do Merge, os dados em formato binários foram transformados em arquivos do tipo *tif* para serem então trabalhados no *software* ArcGis e posteriormente ser desenvolvido o código em Phyton. Para o desenvolvimento desta etapa os seguintes passos foram realizados:

1º Passo: Delimitação da área de estudo

O produto Merge, que contém os dados de precipitação, disponibilizado pelo CPTEC/INPE, encontra-se em formato binário (.bin) e cobre a América do Sul (82.8°W-34°W e 52.2°S-12.2°N) (ROZANTE, 2017). Para o presente estudo as análises ficaram restrita a área delimitada entre a latitude -21.123, longitude -49.751 e latitude -18.299, longitude -46.401 no OpenGrADS, apresentadas no item 5.1 do presente estudo.

2º Passo: Transformação da área selecionada em extensão do tipo .tif

Para a transformação dos dados binários em um arquivo do tipo .tif foi utilizado o *software* OpenGrADS e adotadas as seguintes ações: abertura do arquivo .ctl do produto Merge

(CPTEC/INPE) delimitação da área descrita no 1º Passo e por fim, transformação desta área em uma imagem no formato .tif através do comando geotiff.

3º Passo: Identificação de cada pixel do MERGE

No *software* ArcGis 10.2 a partir da ferramenta *Conversion*, na opção *From Raster* e posteriormente *Raster To Point* foram obtidos a identificação de cada um dos pixels que compõe a área delimitada e também a informação referente a precipitação estimada. Os arquivos gerados foram salvos em uma determinada pasta, entre eles um arquivo cuja extensão é .dbf.

O arquivo com extensão .dbf foi arquivado para posterior utilização na ferramenta desenvolvida Monte Carlo para obter o valor de precipitação a ser simulado no SWMM.

5.2.2 Sub - áreas e fator de multiplicação

A determinação de sub - áreas com a possibilidade de atribuição de pesos para os fatores de multiplicação é uma importante ferramenta de auxílio para a tomada de decisão, uma vez que, precipitações estimadas em áreas mais distantes da área de risco a ser modelada possuem peso inferior em relação às precipitações localizadas em áreas mais próximas.

Seguindo esta linha de pensamento, o presente estudo optou por dividir as áreas Alfa e Beta em três categorias: Prioritária, Atenção e Vigilância, considerando a ordem de proximidade com a bacia do córrego das Lages e além disso em cinco sub- áreas. As sub – áreas foram associadas a um fator de multiplicação na ferramenta Monte Carlo, sendo as duas últimas separadas em duas cada uma. Este fator multiplicador está associado às categorias (Prioritária, Atenção e Vigilância), tendo o critério que quanto mais próximo da bacia do córrego das Lages que está localizado na área Prioritária, maior o fator multiplicador.

A adoção de um fator multiplicador e com valores mais altos para as sub – áreas mais próximas foi devido a metodologia adotada para estimar os valores de precipitação. A ferramenta Monte Carlo faz a média dos valores sorteados, e caso o sistema meteorológico não esteja representado em toda a área, os valores obtidos com a ferramenta podem tender a subestimar os valores sorteados e o fato de multiplicação visa a correção deste fato.

5.2.3 Ferramenta Monte Carlo

Para o desenvolvimento do estudo foi necessária a interação entre os dados de precipitação do produto MERGE (CPTEC/INPE) e o *software* SWMM. Para isso, foi elaborado um código em Python que permitiu inserir as informações binárias de precipitação do MERGE na Série Temporal do SWMM para a simulação hidráulica neste software.

Os seguintes campos foram elaborados para o melhor desenvolvimento da ferramenta Monte Carlo.

1º Campo: Total de amostras

Neste campo é determinado pelo operador a quantidade de sorteios que serão realizados pela ferramenta utilizando a metodologia Monte Carlo.

A tarefa atribuída ao código foi a leitura dos dados de precipitação do produto MERGE salvos em uma determinada pasta, realizar o número de sorteios determinados pelo operador. A média dos valores foi salva no programa.

No presente estudo, o total de sorteios escolhidos para serem realizados foram 50, 100, 150 e 200.

2º Campo: Abrir os dados da bacia de drenagem

Nesta etapa foi inserido o arquivo *.INP* do programa SWMM. Nele anteriormente foram inseridas todas as informações referentes à bacia de drenagem a ser simulada no SWMM.

Destaca-se que o no arquivo *.INP* deve ser anteriormente preparado para receber a série temporal e para que isso ocorra a opção *Times Series* no item *Rain Gage* deve ser escolhida.

3º Campo: Abrir Área em Pontos de Grade.

Nesta etapa foi inserido o arquivo anteriormente preparado no item 5.2.1- *Identificação de Pixel*.

4º Campo: Abrir Prioridades

Neste item foi inserido um arquivo em formato CSV que continha as informações de cada uma das áreas e a prioridade atribuída a ela, conforme citado no item 5.2.2- *Subáreas e fator de multiplicação*. Nesta etapa foi previamente determinado qual era o fator de multiplicação no qual o valor de precipitação sorteado pela ferramenta Monte Carlo deveria ser multiplicado em função da sua localização nas Áreas Alfa ou Beta.

5º Campo: Diretório de Dados

Neste item foi utilizado o arquivo gerado no item 5.1.1 *Identificação do pixel* que se refere ao arquivo do produto MERGE, contendo os dados de precipitação estimado e a identificação do pixel.

6º Campo: Atualizar INP

Antes da execução desta atividade, o operador do sistema deve ficar atento para atualização da data no SWMM, para que o processo de simulação ocorra sem falhas. Para tanto deve acessar o item *Options* na aba *Project* e então em *Dates* e atualizar para a data do processo.

Após a inserção dos dados anteriores, basta selecionar esse item para que a ferramenta faça as leituras dos arquivos escolhidos e simule os sorteios no Monte Carlo, gerando um novo arquivo *INP* para ser utilizado no SWMM.

Após a etapa de criação do arquivo INP o mesmo pode ser aberto pelo operador no *software* SWMM, selecionar a opção de simulação e aguardar o resultado.

O operador poderá através dessa sequência de procedimentos verificar a possibilidade de um evento hidrológico em função de um cenário de precipitação extrema estimada pelo produto MERGE na área de interesse.

5.3 Dados Meteorológicos

Os dados meteorológicos no presente estudo foram provenientes de duas fontes, Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos - CPTEC/INPE. Do INMET foram utilizados os dados provenientes das Estações Meteorológica de Observação de Superfície Automática, descritos na Tabela e do CPTEC/INPE foi utilizado o produto Merge, disponibilizado pelo CPTEC/INPE através do link: <http://ftp.cptec.inpe.br/modelos/io/produtos/MERGE>.

Cada arquivo contendo os dados estimados de precipitação do produto Merge disponibilizados pelo CPTEC/INPE possui dois itens, sendo um arquivo binário (bin) com as informações e um arquivo *.ctl* que descreve qual a variável, o número de linhas do arquivo, coluna e coordenada dos dados, fazendo o papel de um cabeçalho, e para tanto foi necessário transformar o arquivo binário na extensão *.tiff* para que o presente estudo fosse ilustrado através do *software* ArcGis.

Os dados de precipitação do produto Merge foram interpolados e divididos em grades regularmente espaçada de $0,05^\circ$ (ROZANTE, 2017). Cada uma das grades apresenta o valor de precipitação interpolado pelo GPM.

A Figura 34 destaca a precipitação horária observada pelo produto MERGE no dia 28/11/2017 às 00h (horário GMT). A figura também ilustra em seu canto direito inferior a representação dos pixels em que estão contidas as informações de precipitação.

Figura 34- Distribuição dos pixels de precipitação do produto MERGE às 00h GMT do dia 28/11/2017.

Legenda

Precipitação acumulada do dia 28/11/2017- 00h UTC (mm/h)

Coordinate System: GCS WGS 198
Datum: WGS 1984
Units: Degree

Os dados utilizados do INMET são provenientes das quatorze estações automáticas descritas na Tabela 6, distribuídas em quatorze municípios. Os dados do INMET caracterizam-se por serem referentes ao acumulado de precipitação horária nestas estações.

Tabela 6 – Características das estações automáticas do INMET utilizadas no estudo.

Nome da área	Nome da estação	Coordenada da estação		Código da estação	Data da abertura
		Latitude	Longitude		
Araxá	Araxá-A505	-19.605696°	-46.949617°	OMM: 86796	19/12/2002
Barretos	Barretos-A748	-20.559175°	-48.544997°	OMM: 86816	19/06/2010
Campina Verde	Campina Verde-A519	-19.539210°	-49.518133°	OMM: 86793	14/07/2006
Conceição das Alagoas	Conceição das Alagoas-A520	-19.985860°	-48.151574°	OMM: 86794	16/07/2006
Franca A-708	Franca-A708	-20.584475°	-47.382549°	OMM: 86818	10/12/2002
Ituiutaba	Ituiutaba-A512	-18.952907°	-49.525072°	OMM: 86775	11/05/2006
Itumbiara	Itumbiara-A035	-18.409761°	-49.192061°	OMM: 86774	02/11/2007
Ituverava	Ituverava-A753	-20.35976°	-47.77522°	OMM: 86817	17/07/2008
Patrocínio	Patrocínio-A523	-18.996684°	-46.985935°	OMM: 86778	22/08/2006
Passos	Passos-A516	-20.745237°	-46.633916°	OMM: 86819	16/07/2006
Sacramento	Sacramento-A525	-19.875271°	-47.434102°	OMM: 86795	18/08/2006
São Sebastião do Paraíso	São Sebastião do Paraíso-A561	-20.909892°	-47.114259°	OMM: 86811	17/08/2015
Uberaba A568	Uberaba-A568	-19.710028°	-47.961889°	Sem código	18/05/2017
Uberlândia	Uberlândia-A507	-18.917072°	-48.255657°	OMM: 86776	14/12/2002

A escolha das datas que tiveram precipitações significativas limitou-se ao período de 2017, uma vez que a estação automática do INMET instalada no município de Uberaba iniciou a sua operação em de 18 de maio de 2017.

Neste estudo as precipitações foram utilizadas para:

- Verificar a variação entre os dados do INMET e o produto Merge;
- Calibrar o modelo SWMM com a precipitação da estação do INMET;
- Comparar os valores de precipitação obtidos com a ferramenta Monte Carlo para as áreas Alfa e Beta com os dados da estação do INMET e
- Simular no SWMM o uso da ferramenta desenvolvida utilizando o conjunto de dados para a metodologia Monte Carlo.

Em 2017, destacou-se a precipitação que ocorreu em 27 de novembro no período de 23 UTC até as 06 UTC do dia 28 de novembro em que foi registrado um evento hidrológico significativo na área urbana do município, especificamente na Bacia Hidrográfica do Córrego das Lages, sendo consultadas as mídias eletrônicas e o 8º Batalhão do Corpo de Bombeiros, localizado no município de Uberaba para verificar a ocorrência de evento hidrológico.

A calibração do SWMM foi realizada em função da precipitação observada na estação do INMET para o período de 19UTC do dia 27 às 03UTC do dia 28 de novembro de 2017.

A simulação dos dados de precipitação na ferramenta Monte Carlo também se restringe a esse intervalo de horários, assim como a simulação hidráulica no *software* SWMM.

Além da precipitação do dia 27, o presente estudo também optou por analisar o intervalo compreendido entre dos dias 21 de novembro à 01 de dezembro de 2017 para a comparação dos dados meteorológicos estimado pelo produto MERGE do CPTEC e o observado na estação do INMET.

5.3.1 Evento de precipitação utilizados na calibração e na simulação

Considerando a dificuldade de dados primários na área urbana de Uberaba relacionados aos eventos meteorológicos e aos eventos hidrológicos, o presente estudo optou por utilizar o mesmo intervalo de dados para a calibração do modelo como para a simulação da ferramenta Monte Carlo desenvolvida.

O período escolhido compreende a precipitação das 23 horas (UTC) do dia 27 de novembro até as 03 horas (UTC) do dia 28 de novembro de 2017.

Neste período, a precipitação observada pela estação do INMET totalizou 56,8mm/5horas e no município foi registrado o evento de enxurrada na área urbana nas principais avenidas centrais da cidade.

A distribuição da precipitação para o período analisado pode ser vista na Figura 35.

Figura 35- Distribuição da precipitação na estação do INMET em Uberaba.

Em datas anteriores é possível constatar através dos registros históricos diversos eventos, no entanto, conforme já mencionado, a estação do INMET que possibilitou o registro a cada hora foi instalada somente em 2017. Somado a este fator, nos anos anteriores o projeto Água Viva estava em atividade e não foram encontrados registros referentes a cada período que pudesse ser utilizado para identificar em qual etapa do projeto estava e quais os canais que foram concluídos, o que dificultaria a criação da tipologia da área de estudo.

5.4 Comparação entre os valores de precipitação observados nas estações do INMET e os valores de precipitação do pixel do produto Merge

Considerando que os pluviômetros são os sensores diretos de mensuração da precipitação, foi necessário verificar uma correlação entre eles e os dados dos sensores espaciais de estimativa da precipitação, no caso o produto Merge.

Conforme dito anteriormente, o Merge é o produto da precipitação observada com a estimada por satélite. Em locais em que há estação pluviométrica o algoritmo do Merge realiza uma correlação entre os dados estimadas pelo satélite com os observados nas estações pluviométricas. Em função desta característica, o este estudo realizou a comparação entre os dados observados nas estações do INMET e o estimado no pixel do produto MERGE correspondente à localização da estação do INMET.

Somada a esta comparação gráfica, o presente estudo também optou por comparar através do Erro Médio (EM) e da Raiz do Erro Médio Quadrático (REMQ) os valores de precipitação estimada e observada e posteriormente a comparação entre estes dois com produto da ferramenta Monte Carlo.

Para cálculo do Erro Médio (EM) foi utilizada a Equação 30.

$$EM = \sum(M - O) / N \quad (30)$$

Para cálculo do Raiz do erro Médio Quadrático (REMQ) foi utilizada a Equação 31.

$$REMQ = \sqrt{\sum(M - O)^2 / N} \quad (31)$$

Onde: M- estimativa de precipitação do produto MERGE (CPTEC-INPE), O – precipitação observada na estação do INMET e N é o número de horas ou dias utilizado no estudado.

O uso destas equações permite identificar a grade da estação que apresentou a maior variação entre o observado e o estimado pelo produto Merge e também pelo sorteio do Monte Carlo.

5.5 Dados hidráulicos e dados de infiltração no solo

As informações referentes aos canais de drenagem foram obtidas no Centro Operacional de Desenvolvimento e Saneamento de Uberaba - Codau.

As informações disponibilizadas pelo Codau foram em arquivos de extensão dwg para uso no *software* AutoCAD, e após a seleção das áreas específicas para o estudo, elas foram digitalizadas no SWMM além de estudos relacionados ao licenciamento ambiental e estudos contratados pela Prefeitura Municipal de Uberaba.

As informações disponibilizadas continham declividade, área da bacia de contribuição, profundidade do canal, localização dos poços de visita, assim como profundidade dos mesmos e coordenadas geográficas, incluindo também referências ao coeficiente de Manning.

Além desses elementos, também foi consultado o estudo intitulado “Estudo do Sistema de Macro Drenagem da Cidade de Uberaba: Bacia Hidrográfica do Córrego das Lajes” realizado em 2005 pela Universidade Federal de Minas Gerais, na Escola de Engenharia, no departamento de Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos, que também faz referência ao estudo realizado pela empresa Themag Engenharia e Gerenciamento Ltda em 1997 intitulado “Plano de Combate às Enchentes da Cidade de Uberaba – diagnóstico geral”. Este documento destaca-se pelo uso das informações referentes aos dados de infiltração no solo.

Nas situações em que os arquivos disponibilizados não continham as informações necessárias para caracterizar as bacias hidrográficas, o presente estudo optou por utilizar as informações previamente determinadas pelo SWMM.

Em relação ao modelo hidráulico de transporte, o presente estudo optou pela Onda Dinâmicas.

A Figura 36 representa as informações necessárias para a simulação dos eventos hidrológicos no SWMM.

Figura 36- Informações necessárias para a simulação de eventos hidrológicos com o uso de satélites.

5.5.1 Declividade das Áreas de Drenagem

Para a determinação da declividade de cada uma das áreas de drenagem que compõem o estudo, foi utilizado o Modelo Digital de Elevação (MDE) do sensor *ASTER* (NASA/METI), adquirido em 11/10/2011 e com resolução espacial de aproximadamente 30 metros. A declividade foi calculada no *software ArcGIS 10.2* à partir da ferramenta *Slope (Spatial Analyst Tools)*.

O cálculo das médias de declividade em cada área foi feito pela ferramenta *Zonal Statistics as Table (Spatial Analyst Tools)* no mesmo *software*.

5.5.2 Determinação dos parâmetros da Sub- bacia

Os percentuais de área permeável e impermeável de cada uma das sub - bacias do estudo foi realizado com o auxílio do Google Earth com imagem de 18 de janeiro de 2018.

A largura característica do escoamento superficial foi estimada em função de duas equações que foram descritas no item 5.5.2.2 deste estudo.

A determinação da área de cada uma das sub - bacias foi através da consulta dos arquivos disponibilizados pelo Codau.

A propagação do escoamento superficial simulada em cada uma das sub - áreas foi através da opção *Impervious* do SWMM que determina o escoamento da área permeável para a impermeável.

Os valores de Manning utilizados foram baseados nos registros dos estudos realizados pela Prefeitura Municipal de Uberaba, além disso, manteve-se o coeficiente de $0,015 \text{ (m}^{-1/3}.\text{s)}$ para áreas impermeáveis e $0,15 \text{ (m}^{-1/3}.\text{s)}$ para áreas permeáveis. Embora os canais urbanos tenham sido construídos em épocas distintas e, portanto, com coeficientes diferentes, o presente considerou apenas essas condições por não haver um registro detalhado sobre cada canal e suas condições.

5.5.2.1 Dados de infiltração no solo

A urbanização das bacias hidrográfica altera as características dos solos. Esta alteração ocorre de forma variada na bacia em função da implantação de diferentes materiais pela prefeitura e pela população, o que torna difícil determinar com precisão a capacidade de infiltração de uma bacia urbanizada.

O modelo SWMM oferece, conforme apresentado anteriormente, a possibilidade de adoção de três alternativas para determinar a infiltração no solo, sendo estas o método SCS, a equação de Horton e o método de Green-Ampt.

Devido à diversidade apresentada em uma bacia urbana fica inviável determinar a capacidade de infiltração hidráulica da superfície saturada, assim como os dados das

características do solo sendo, portanto, descartada a utilização neste estudo dos métodos de Horton e o de Green-Ampt.

O método SCS é uma aproximação adotada pelo CN (Curva-Número) do NRCS (*National Resources Conservation Service*), o que favorece o uso desta metodologia para análise de bacias urbanizadas em que não é possível determinar os dados exigidos para a modelagem pelas demais metodologias.

Desta forma, o presente estudo utilizou os valores do CN, descritos na Tabela 7 para compor os dados das bacias hidrográficas estudadas.

Tabela 7- Classes Hidrológicas dos Solos pelo NRCS (National Resources Conservation Service)

Grupo	Significado	Condutividade hidráulica saturada (pol/h)
A	Escoamento superficial potencialmente baixo. Solos com uma taxa de infiltração alta, mesmo quando completamente saturados e principalmente profundos; areia drenada excessivamente ou cascalhos	$\geq 0,45$
B	Solos com uma taxa de infiltração moderada, quando completamente saturado e, principalmente, com profundidade moderada a profundo; solos moderadamente drenados a bem drenados; solos com textura moderadamente fina a moderadamente grosseira	0,30 - 0,15
C	Solos com taxa de infiltração lenta quando completamente saturados e consistindo, principalmente de solos com uma camada que impede o movimento descendente da água ou solos com uma textura moderadamente fina a textura fina.	0,15 – 0,05
D	Potencial de escoamento superficial alto. Solos com taxa de infiltração muito lenta, quando completamente saturados e consistindo, principalmente, de solos argilosos com um alto potencial de expansão; solos com um lençol freático permanente alto; solo com camadas de argila na, ou próxima à superfície e solo rasos sobre material quase impermeável.	0,05 – 0,0

Fonte: LENHS (2012).

Em relação as classes hidrológicas do solo, o manual do SWMM cita os valores descritos na Tabela 8.

Tabela 8- Curva número do Soil Conservation Service – SCS

Descrição do Uso de Terra	Classes Hidrológicas do Solo- NRCS			
	A	B	C	D
Terra Cultivada				
• Sem tratamento para conservação	72	81	88	91
• Com tratamento para conservação	62	71	78	81
Pastagem				
• Condição ruim	68	79	86	89
• Condição boa	39	61	74	80
Campo				
• Condição boa	30	58	71	78
Floresta				
• Densidade baixa, cobertura pobres, sem cobertura	45	66	77	83
• Boa cobertura	25	55	70	77
Espaços abertos, gramados, parques, campos de golfe, cemitérios etc.				
• Condição boa: cobertura de grama em 75% ou mais da área				
• Condição justa: cobertura de grama em 50-75% da área	39	61	74	80
	49	69	79	84
Áreas comerciais e de negócio (85% impermeáveis)	89	92	94	93
Distritos industriais (72% impermeáveis)	81	88	91	93
Residencial				
Tamanho médio do lote (% impermeável)				
• 0,05 ha ou menos (65)	77	85	90	92
• 0,10 ha (38)	61	75	83	87
• 0,13 ha (30)	57	72	81	86
• 0,20 ha (25)	54	70	80	85
• 0,40 ha (20)	51	68	79	84
Estacionamento pavimentado, telhados, calçadas etc.	98	98	98	98
Ruas e estradas				
• Pavimentadas com meio fio e drenagem	98	98	98	98
• Com cascalho	76	85	89	91
• Sujas	72	82	87	89

Fonte: LENHS (2012).

Em relação ao PA - Impermeável e o PA - Permeável, referentes as profundidades de armazenamento em depressão na parcela permeável da sub - bacia, foram adotados os valores de 1,27 e 2,54 respectivamente, entre os sugeridos no item A.5- Armazenamento em depressões do Manual do SWMM, ilustrados na Tabela 9.

Tabela 9- Valores utilizados para caracterizar o armazenamento em depressões

Superfícies Impenetráveis	1,27- 2,54mm
Gramados	2,54- 5,08mm
Pastagens	5,08mm
Serapilheira	7,62mm

Fonte: LENHS (2012).

5.5.2.2 Valores para a largura do escoamento das sub - bacias (W)

Entre os elementos que mais favorecem nas variações dos resultados nas simulações do SWMM está a largura do escoamento das sub - bacias (W).

Para verificar se este parâmetro pode influenciar no resultado final na bacia hidrográfica do córrego das Lages, o presente estudo optou por realizar a análise através de dois itens:

- a) A largura do escoamento das sub - bacias (W) é resultado da Equação 33

$$Sk = (A_2 - A_1)/A_t \quad (32)$$

$$W = (2 - Sk) * L \quad (33)$$

Em que: A_1 e A_2 são as áreas laterais do canal; A_t é a área total; L é o comprimento do canal de drenagem principal e W é a largura do escoamento da sub- bacia.

- b) A largura do escoamento das sub - bacias (W) é resultado da Equação 34

$$W = A/L_{diagonal} \quad (34)$$

Em que: A é a área total; $L_{diagonal}$ é o comprimento diagonal da área da sub- bacia e W é a largura do escoamento da sub - bacia.

A largura do escoamento da sub – bacia está diretamente ligada ao valor resultante da vazão do canal de drenagem, conforme é demonstrado através da Equação 35, em que aponta que a largura do canal é parte integrante da equação de Manning utilizado pelo software.

$$Q = w \cdot \frac{1.49}{\eta} \cdot (d - d_p)^{5/3} \cdot S^{1/2} \quad (35)$$

Retomando a Figura 20 anteriormente ilustrada, tem-se que o escoamento superficial ocorre quando a profundidade da coluna d'água (d) é superior a capacidade de armazenamento da depressão (d_p), ilustrado na Figura 20, sendo a altura da lâmina d'água da depressão calculada continuamente, assim como a vazão resultante é em função da Equação de Manning, sendo influenciada pela largura do escoamento da sub – bacia (w).

5.6 Pontos de referências para análise do evento hidrológico a ser utilizado no SWMM

A confirmação de eventos hidrológicos pode ocorrer em função de diversos elementos, tais como o registro em estações fluviométricas que possuem as cotas de inundação, decretos municipais, como os de calamidade pública após os eventos, reconhecimento do governo federal da ocorrência do evento hidrológico, de registros das defesas civis e do corpo de bombeiros ou até mesmo através dos registros de imagens durante os eventos registrados pela mídia ou pelo público de forma geral.

Como na área de estudo não há um posto fluviométrico, o presente estudo utilizou dados do corpo de bombeiro e informações das mídias para estimar a cota do evento hidrológico em questão.

Duas formas foram utilizadas para analisar o evento hidrológico a ser simulado e calibrado no SWMM. A primeira refere-se à adoção de dois pontos que foram identificados durante o evento hidrológico do dia 27 de novembro através das imagens obtidas na mídia e a segunda através da análise da capacidade da cota do nó.

Apenas a título de definição dos termos utilizados no estudo, quando for citado o termo “Cota do nó” o presente estudo refere-se à profundidade do nó, ou seja, a profundidade do poço de visita, já o termo “Cota estimada do evento hidrológico” refere-se à soma da profundidade do nó com a altura que a água atingiu no evento hidrológico, conforme demonstrado na Figura 37.

Figura 37 - Cotas utilizadas no estudo.

Os primeiros pontos de referência B3 e B4 estão localizados na Avenida Santos Dumont e tomando como referência a residência localizada ao lado do ponto comercial (nó B3) em que foi possível estimar que a água atingiu uma altura de 1,20m, conforme ilustra a Figura 39.

Figura 39- Enxurrada na Avenida Santos Dumont e o ponto de referência com a altura que a água atingiu no dia 28/11/2017 no nó B3.

Os pontos 1480 e 1481 estão localizados na Avenida Leopoldino de Oliveira, no córrego das Lages e têm como referência a esquina do shopping José Generoso Lenza (nó 1481) em que foi possível estimar que a água atingiu uma altura de 1 metro, conforme ilustra a Figura 40.

Figura 40- Enxurrada na Avenida Leopoldino de Oliveira e o ponto de referência com a altura que a água atingiu no dia 28/11/2017 no nó 1481.

Além desses pontos, também foram considerados outros pontos localizados nos córregos da Bica, Capão da Igreja, Comércio e o córrego das Lages. Os nós considerados para

uma análise do presente estudo estão identificados na Tabela 10, com as respectivas cotas de transbordamento, ou seja, a altura do poço de visita do nó.

Tabela 10- Pontos utilizados para verificação da capacidade do sistema de drenagem.

Número do nó	Latitude	Longitude	Cota de transbordamento do nó (m)	Bacia Hidrográfica
B1	191128.778	7813145.546	2,2	Córrego das Bicas
B2	191132.179	7813139.984	2,5	Córrego das Bicas
B3	191991.899	7813845.225	2,8	Córrego das Bicas
B4	191998.169	7813840.523	2,5	Córrego das Bicas
1607	191919.182	7813743.850	2,8	Córrego das Bicas
1379	191926.417	7813735.259	2,9	Córrego das Bicas
Co1	192732.978	7814350.083	2	Córrego do Comércio
Co2	192273.578	7813785.265	2,5	Córrego do Comércio
CI 2	192544.853	7813445.970	2,5	Córrego Capão da Igreja
CI 3	192554.615	7813446.622	2,8	Córrego Capão da Igreja
1480	192009.498	7814108.084	3,5	Córrego das Lages
1481	191997.667	7814104.319	2,8	Córrego das Lages
170	192053.485	7813947.417	3	Córrego das Lages
*3	192031.769	7813982.333	2,8	Córrego das Lages
*4	192049.061	7813992.773	3,5	Córrego das Lages
*5	192149.406	7813827.041	2,5	Córrego das Lages
*6	192198.107	7813816.790	5,9	Córrego das Lages
*7	192530.769	7813581.326	3	Córrego das Lages
*8	192537.509	7813585.645	3	Córrego das Lages

Como para esses nós não foi possível determinar a cota estimada do evento hidrológico, foram adotadas as cotas de transbordamento dos nós para verificar se a via pública foi ocupada por água.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste item são apresentadas as comparações entre os dados de precipitação extraídos do produto Merge (CPTEC/Inpe) e os dados de precipitação das estações meteorológicas de observação de superfície automática do INMET. Além deste item também são apresentados o resultado da análise do Erro Médio (EM) e da Raiz do Erro Médio Quadrático (REMQ).

Em relação aos valores de precipitação estimados obtidos pela ferramenta desenvolvida do Monte Carlo, estes também são apresentados para cada uma das simulações propostas na metodologia, além da comparação dos valores da estação do INMET em Uberaba e dos resultados através da análise do Erro Médio (EM) e pela Raiz do Erro Médio Quadrático (REMQ).

Somam-se os produtos finais do presente estudo, o resultado das simulações das propostas e a comparação destes resultados com a simulação que foi realizada com os dados da estação do INMET em Uberaba.

Conforme destacado anteriormente, o registro das precipitações utilizadas neste estudo está em Tempo Universal Coodernado –UTC, ou seja, 3 horas a menos, exceto no horário de verão (2h) em municípios que o adotaram.

6.1 Delimitação das áreas Alfa e Beta

Para o estudo delimitou-se duas áreas, tendo como referência central a região da Bacia Hidrográfica do Córrego das Lage e o tamanho do pixel do produto Merge, conforme destaca a Figura 41.

A área Alfa possui 107.540 km² e contempla 3565 pixels do produto Merge. Nesta área localizam-se quatorze estações automáticas do INMET, também ilustradas e identificadas na Figura 41, tendo em sua área central a área urbana do município de Uberaba em que está localizada a bacia hidrográfica do córrego das Lages.

A área Beta possui 7.183 km² e o que corresponde a 240 pixels do produto Merge e conforme pode ser verificado na Figura 41, contempla grande parte do território do município de Uberaba, além de alguns municípios adjacentes. Assim como para a área Alfa, na parte central da área Beta está localizada a bacia hidrográfica do córrego das Lages que está contemplada em dois pixels do produto Merge.

Na área Beta estão localizadas duas estações automáticas do INMET, sendo elas a estação Conceição das Alagoas e a estação Uberaba, cada qual localizada no município homônimo. As estações automáticas do INMET contempladas nas áreas delimitadas neste estudo estão descritas na Tabela 11 e ilustradas na Figura 41.

Figura 41- Localização das áreas Alfa e Beta, das estações e dos pixels das estações do INMET

Tabela 11 – Características das estações automáticas do INMET utilizadas no estudo.

Nome da área	Nome da estação	Coordenada da estação		Código da estação	Data da abertura
		Latitude	Longitude		
Araxá	Araxá-A505	-19,605696°	-46,949617°	OMM: 86796	19/12/2002
Barretos	Barretos-A748	-20,559175°	-48,544997°	OMM: 86816	19/06/2010
Campina Verde	Campina Verde-A519	-19,539210°	-49,518133°	OMM: 86793	14/07/2006
Conceição das Alagoas	Conceição das Alagoas-A520	-19,985860°	-48,151574°	OMM: 86794	16/07/2006
Franca	Franca-A708	-20,584475°	-47,382549°	OMM: 86818	10/12/2002
Ituiutaba	Ituiutaba-A512	-18,952907°	-49,525072°	OMM: 86775	11/05/2006
Itumbiara	Itumbiara-A035	-18,409761°	-49,192061°	OMM: 86774	02/11/2007
Ituverava	Ituverava-A753	-20,35976°	-47,77522°	OMM: 86817	17/07/2008
Patrocínio	Patrocínio-A523	-18,996684°	-46,985935°	OMM: 86778	22/08/2006
Passos	Passos-A516	-20,745237°	-46,633916°	OMM: 86819	16/07/2006
Sacramento	Sacramento-A525	-19,875271°	-47,434102°	OMM: 86795	18/08/2006
São Sebastião do Paraíso	São Sebastião do Paraíso-A561	-20,909892°	-47,114259°	OMM: 86811	17/08/2015
Uberaba	Uberaba-A568	-19,710028°	-47,961889°	Sem código	18/05/2017
Uberlândia	Uberlândia-A507	-18,917072°	-48,255657°	OMM: 86776	14/12/2002

6.2 Identificação dos pixels dos dados de precipitação do MERGE

A necessidade de se implantar essa rotina computacional para que o pixel localizado em um determinado local tivesse o mesmo identificador, favorece a melhoria da rotina computacional e na diminuição do tempo necessário para o processamento da informação pela ferramenta Monte Carlo.

A Figura 42 ilustra o resultado obtido com o uso do *software* ArcGis para a identificação dos pixels. A Figura 42-a destaca os valores de precipitação de cada um dos pixels do produto Merge (CPTEC/Inpe) e a Figura 42-b destaca o código de identificação dos pixels.

Figura 42- Ilustração das informações contidas no arquivo binário do MERGE (CPTEC/INPE).

- a) Informação da precipitação do pixel do Merge; b) identificação do número do pixel do produto Merge

6.3 Dados meteorológicos

No presente estudo foram utilizados os dados meteorológicos horários estimados do produto Merge para o intervalo dos dias 21 de novembro a 1º de dezembro de 2017, assim como dados observados das quatorze estações do INMET anteriormente citadas, localizadas nas áreas de abrangência do estudo.

Devido ao volume de dados, as informações estão disponibilizadas no Apêndice A.

6.4 Delimitação das sub- áreas e fator de multiplicação

As Figuras 43 e 44 ilustram as sub- áreas utilizadas no presente estudo para as áreas Alfa e Beta, respectivamente.

As Figura 43 a) e 44 a) ilustram as áreas escolhidas neste estudo como Prioritária, Atenção e Vigilância. Nas Figuras 43 b) e 44 b) as áreas consideradas como sub- áreas de 1 a 5 são aquelas em que foi possível atribuir os pesos, conforme destaca a Tabela 12.

Figura 43- Área Alfa e as sub- áreas

Figura 44- Área Beta e as sub- áreas

Tabela 12- Valores adotados para os fatores de multiplicação em cada um dos testes realizados

Nome da Sub- área	Nível de prioridade	Fator de multiplicação				
		Condição 1	Condição 2	Condição 3	Condição 4	Condição 5
Área 1	Prioritária	1	1	1,4	1,8	2
Área 2	Atenção	0,8	1	1,3	1,7	1,8
Área 3	Atenção	0,75	0,9	1,2	1,7	1,8
Área 4	Vigilância	0,7	0,85	1,1	1,6	1,5
Área 5	Vigilância	0,65	0,85	1	1,6	1,5

Para ambas as áreas, área Vigilância foi dividida em duas sub- áreas (sub- áreas 4 e 5). A área Atenção corresponde a sub- área 3 e a área Prioritária foi dividida em duas sub- áreas (sub- áreas 2 e 1).

Intencionalmente, as áreas Vigilância, Atenção e Prioritária, foram subdivididas de forma a possibilitar a atribuição de pesos diferentes aos fatores de multiplicação para cada um dos cenários propostos no estudo. Ao possibilitar essa manobra, é possível verificar valores estimados de precipitação de cada um dos cenários propostos que apresentam uma melhor relação com os dados observados na estação do INMET em Uberaba.

Além desse elemento, considerando o aspecto da gestão de risco, uma precipitação observada a uma determinada distância da área de estudo deve possuir um peso diferente daquela que se encontra mais próxima da área de estudo e consequentemente da área de risco. Ao atribuir valores diferentes para esses pesos, também é possível ao gestor do sistema estabelecer diferentes níveis de ações a serem tomadas.

6.5 Ferramenta Monte Carlo

Com o objetivo de tornar o uso da ferramenta Monte Carlo mais amigável, foi desenvolvida uma Interface Gráfica do Usuário (*Graphical User Interface - GUI*) baseada na biblioteca TKinter. Nesse processo, a interface gráfica foi desenvolvida utilizando o *multithread*, ou seja, procurou-se manter independência entre o processamento dos dados e a manipulação da interface gráfica. Assim, enquanto a interface gráfica é manipulada por uma linha de processamento específica (Thread), a atualização do arquivo INP fica a cargo de outra linha de processamento. Isso melhora a usabilidade do programa, pois evita a sensação de que o programa está “travado”, durante o processo de atualização do INP.

A Figura 45 ilustra a janela que constitui a ferramenta desenvolvida no presente estudo, onde é possível visualizar um local para inserção do número de sorteios a serem realizados pela ferramenta, o local para inserção do arquivo do INP, um local para inserir o arquivo contendo os fatores de multiplicação, um local para a busca da pasta que contém os dados meteorológicos, e por fim, todos esses elementos são inseridos no arquivo do SWMM para a simulação hidráulica no *software* homônimo. O código desenvolvido para essa ferramenta está disponível no Apêndice B.

Figura 45- Janela de comandos da ferramenta Monte Carlo

O esquema a seguir representa os processos realizados no presente estudo.

Figura 46- Processos realizados no estudo

6.6 Análise das áreas com dados de precipitação do INMET e do produto Merge

A comparação entre os dados das áreas referentes às Estações Meteorológica de Observação de Superfície Automática do INMET e produto Merge (CPTEC-INPE) visou identificar variações do registro da precipitação.

Conforme já apontado anteriormente, esta análise se faz necessária pois a informação registrada em uma estação meteorológica é considerada como dado mensurado e a informação de precipitação do satélite é considerada como dado estimado.

Além disso, uma vez que o produto Merge é reavaliado, ou seja, o dado da estação do INMET pode ser considerado no produto MERGE e com isso o registro é reajustado. É importante identificar quando o produto Merge superestimou ou subestimou valores de precipitação, quando o produto foi reajustado com o dado da estação do INMET.

Apenas serão comentados os valores de precipitação que variaram acima de 10mm/h. o horário registrado nos gráficos estão em UTC. O estudo utilizou o seguinte intervalo de datas para calibração e simulação dos eventos hidrológicos: entre 21/11/2017 a 01/12/2017.

- Precipitação em 21/11/2017

Neste dia, as maiores variações entre as estações automáticas do INMET e produto Merge (CPTEC-INPE) foram observadas na estação de Sacramento, São Sebastião do Paraíso e Uberaba. Conforme é possível identificar na Figura 47, às 19h foi estimado pelo produto Merge, uma precipitação de 10,7mm/h e não foi observado nenhum valor de precipitação para a mesma hora na estação do INMET.

Figura 47- Precipitação observada na estação do INMET e estimada no pixel de Sacramento no dia 21/11/2017.

O produto Merge estimou uma precipitação de 24,52mm/h às 6h na estação de São Sebastião do Paraíso e nenhum valor foi observado na estação do INMET para o mesmo período, conforme destaca a Figura 48.

Figura 48- Precipitação observada na estação do INMET e estimada no pixel de São Sebastião do Paraíso no dia 21/11/2017.

Na estação de Uberaba o que se destacou para a referida data foi o registro na estação do INMET de precipitação das 15h às 20h, em que o maior valor observado foi 9,6mm/h. Destacou-se o fato do produto Merge estimar uma precipitação de 10,68mm/h as 19h e na estação do INMET nenhum valor de precipitação foi observado, conforme ilustra a Figura 49.

Figura 49 - Precipitação observada na estação do INMET e estimada no pixel de Uberaba no dia 21/11/2017.

- Precipitação em 25/11/2017

Neste dia, destacou-se a variações dos valores de precipitação entre as estações automáticas do INMET e produto Merge (CPTEC-INPE) na estação São Sebastião do Paraíso,

conforme ilustra a Figura 50. Às 19h, nenhum valor de precipitação foi estimado pelo produto Merge enquanto na estação do INMET foi observado uma precipitação de 20mm/h.

Figura 50- Precipitação observada na estação do INMET e estimada no pixel de São Sebastião do Paraíso no dia 25/11/2017.

- Precipitação em 26/11/2017

Neste dia, destacaram as variações dos valores de precipitação entre as estações automáticas do INMET e produto Merge (CPTEC-INPE) nas estações de Campina Verde, Ituverava, Sacramento e Uberaba.

Em Campina Verde, conforme destaca a Figura 51, observa-se picos de precipitação estimados pelo produto Merge (CPTEC-INPE), variando de 1,59mm/h à 14mm/h enquanto na estação automática do INMET não houve registro de precipitação neste dia.

Figura 51- Precipitação observada na estação do INMET e estimada no pixel de Campina Verde no dia 26/11/2017.

Em Ituverava, conforme ilustra a Figura 52 às 14h foi observado na estação do INMET uma precipitação de 24,2mm/h e nenhum valor de precipitação foi estimado pelo produto MERGE.

Figura 52- Precipitação observada na estação do INMET e estimada no pixel de Ituverava no dia 26/11/2017.

Na estação de Sacramento a mesma situação também foi observada para às 6h a estação do INMET registrou 21,2mm/h e nenhum valor foi estimado pelo produto MERGE, conforme destaca a Figura 53.

Figura 53- Precipitação observada na estação do INMET e estimada no pixel de Sacramento no dia 26/11/2017.

Para a estação de Uberaba, foi observado na estação do INMET uma precipitação e 82,4mm/h às 5h enquanto no produto MERGE foi estimada uma precipitação de 11,86mm/h, conforme ilustra a Figura 54.

Figura 54- Precipitação observada na estação do INMET e estimada no pixel de Uberaba no dia 26/11/2017.

- Precipitação em 27/11/2017

Neste dia, destacaram as variações dos valores de precipitação entre as estações automáticas do INMET e produto Merge (CPTEC-INPE) nas estações de Campina Verde e Uberaba para as 23h.

Conforme ilustram a Figura 55, o produto Merge estimava uma precipitação de 22,8mm/h e na estação do INMET foi observada uma precipitação de 7,2mm/h.

Figura 55- Precipitação observada na estação do INMET e estimada no pixel de Campina Verde no dia 27/11/2017.

Para a estação de Uberaba, conforme destaca a Figura 56, foi observada uma precipitação de 14,4mm/h e o produto Merge estimou uma precipitação de 0,94mm/h.

Figura 56- Precipitação observada na estação do INMET e estimada no pixel de Uberaba no dia 27/11/2017.

- Precipitação em 28/11/2017

Neste dia destacaram as variações dos valores de precipitação entre as estações automáticas do INMET e produto Merge (CPTEC-INPE) nas estações de Ituverava e Uberaba. Para a estação Ituverava, o produto Merge estimou uma precipitação de 13mm/h às 0h e a estação do INMET registrou uma precipitação de 1,2mm/h, conforme ilustra a Figura 57.

Figura 57- Precipitação observada na estação do INMET e estimada no pixel de Ituverava no dia 28/11/2017.

A estação Uberaba para o mesmo horário observou na estação do INMET uma precipitação de 30,8mm/h e o produto Merge estimou uma precipitação de 11,86mm/h conforme ilustra a Figura 58.

Figura 58- Precipitação observada na estação do INMET e estimada no pixel de Uberaba no dia 28/11/2017.

- Precipitação em 29/11/2017

Assim como ocorreu no dia 28/11/2017, as estações em que as variações de precipitação se destacaram foram as estações de Ituverava e Uberaba.

Para a estação Ituverava o produto Merge estimou uma precipitação de 17,53mm/h às 0h e a estação do INMET não registrou uma precipitação, além deste horário, às 20h o produto Merge estimou uma precipitação de 25,9mm/h e na estação do INMET também nenhuma precipitação foi observada conforme ilustra a Figura 59.

Figura 59- Precipitação observada na estação do INMET e estimada no pixel de Ituverava no dia 29/11/2017.

Na estação Uberaba foi observado uma precipitação de 14,4mm/h às 23h e o produto Merge não estimou precipitação para este horário conforme destaca a Figura 60.

Figura 60- Precipitação observada na estação do INMET e estimada no pixel de Uberaba no dia 29/11/2017.

- Precipitação em 30/11/2017

As estações que apresentaram variações de precipitação foram às de Campina Verde, Ituverava, Sacramento e São Sebastião do Paraíso.

Para a estação Campina Verde, a estação do INMET registrou uma precipitação de 14mm/h às 19h e o produto Merge não estimou precipitação para este horário conforme ilustra a Figura 61.

Figura 61- Precipitação observada na estação do INMET e estimada no pixel de Campina Verde no dia 30/11/2017.

Na estação Ituverava a estação do INMET registrou uma precipitação de 24,2mm/h às 14h e o produto Merge não estimou precipitação para este horário conforme ilustra a Figura 62.

Figura 62- Precipitação observada na estação do INMET e estimada no pixel de Ituverava no dia 30/11/2017.

Para a estação Sacramento a estação do INMET registrou uma precipitação de 10,2mm/h às 21h e o produto Merge não estimou precipitação para este horário conforme ilustra a Figura 63.

Figura 63- Precipitação observada na estação do INMET e estimada no pixel de Sacramento no dia 30/11/2017.

Para a estação São Sebastião do Paraíso a estação do INMET não registrou nada às 16h e o produto Merge estimou uma precipitação para este horário uma precipitação de 13,01mm/h conforme ilustra a Figura 64.

Figura 64- Precipitação observada na estação do INMET e estimada no pixel de São Sebastião do Paraíso no dia 30/11/2017.

- Precipitação em 01/12/2017

As estações que apresentaram variações de precipitação foram a de Barretos, Campina Verde, Ituverava, Ituiutaba, Sacramento e Uberaba.

Para a estação de Barretos, conforme destaca a Figura 65, no horário da 1h a precipitação observada na estação do INMET foi de 12mm/h e o estimado pelo produto MERGE foi de 1mm/h. Para o restante do dia observa-se uma correlação dos valores de precipitação estimados e observados.

Figura 65- Precipitação observada na estação do INMET e estimada no pixel de Barretos no dia 01/12/2017.

Para a estação de Campina Verde a maior variação entre os dados foi às 21h, e o produto Merge estimou uma precipitação de 31mm/h enquanto na estação do INMET não foi observada precipitação, conforme destaca a Figura 66.

Figura 66- Precipitação observada na estação do INMET e estimada no pixel de Campina Verde no dia 01/12/2017.

Para a estação Ituiutaba à 1h foi estimada uma precipitação de 14,02mm/h enquanto a estação do INMET não registrou precipitação durante esse período. Para o restante do período existe uma equivalência dos dados, conforme ilustra a Figura 67.

Figura 67- Precipitação observada na estação do INMET e estimada no pixel de Ituiutaba no dia 01/12/2017.

Na estação Ituverava observa-se uma grande variação entre o valor observado na estação do INMET e no produto MERGE, destacando a precipitação observada às 19h na estação do INMET de 14,6 e o produto MERGE não estimou precipitação para este período demonstrado na Figura 68.

Figura 68- Precipitação observada na estação do INMET e estimada no pixel de Ituverava no dia 01/12/2017.

Na estação Sacramento foram observadas variações significativas de precipitação às 3h, 6h, 12h e 17h, sendo em todos estes horários a estação do INMET registrou valores de precipitação superiores ao produto MERGE. Para às 3h foi observada uma precipitação de 12,0mm/h e nenhuma precipitação foi estimada. Para às 6h foi observada uma precipitação de 16mm/h e estimada uma precipitação 0,2mm/h. Para às 12h foi observada uma precipitação de 14,2mm/h e estimada uma precipitação de 0,4mm/h pelo produto MERGE e por fim, para as 17h foi observada na estação do INMET uma precipitação de 16,2mm/h e foi estimada uma precipitação de 0,2mm/h para este intervalo pelo produto Merge, conforme ilustra a Figura 69.

Figura 69- Precipitação observada na estação do INMET e estimada no pixel de Sacramento no dia 01/12/2017.

Na estação Uberaba foram observadas variações significativas de precipitação às 2h onde a estação do INMET registrou 21mm/h e o produto Merge estimou 7,6mm/h, às 10h a estação INMET registrou 10,2mm/h e o produto MERGE estimou 0,09mm/h e às 15h quando

a estação do INMET registrou 11,8mm/h INMET, o produto MERGE estimou 2,25mm/h, itens estes destacados na Figura 70.

Figura 70- Precipitação observada na estação do INMET e estimada no pixel de Uberaba no dia 01/12/2017.

Uma das justificativas para o uso de satélite está na capacidade de abrangência espacial desta ferramenta. Diferentemente dos pluviômetros e dos radares, os satélites apresentam a possibilidade de monitoramento de uma extensa área e os satélites são ferramentas importantes por auxiliarem no monitoramento de áreas que não possuam cobertura de outros instrumentos ou que naquelas em que a densidade destes seja baixa.

Em relação ao Erro Médio (EM) para o intervalo de dados estimados (produto Merge) e observados (as quatorze estações do INMET) compreendido entre 21 de novembro a 01 de dezembro de 2017, observou-se que as maiores variações entre os pixels analisados e a estação do INMET correspondente foram nas estações Campina Verde (2,62), Sacramento (-1,71) e Uberaba (-4,37) no dia 26 de novembro; nas estações Ituverava (1,36) e Uberaba (-0,84) no dia 28 e no dia 29 de novembro com os valores de 2,5 e -0,66 respectivamente. O dia 1º de dezembro apresentou variações nas estações de Campina Verde (2,39), Ituverava (-3,75), Sacramento (-4,02), Uberaba (-2,90), conforme ilustra a Figura 71.

Figura 71- Erro Médio entre os dados das estações do INMET e o produto Merge (CPTEC-INPE).

essa perspectiva, o produto do satélite pode apresentar variações de precipitação quando o algoritmo não está correlacionado com a estação do INMET.

Outro ponto que deve ser analisado é que a análise foi realizada comparando um pixel com uma estação e que se fosse adotado por exemplo uma média referente a bacia hidrográfica poderia ser observada uma maior aproximação dos dados. Estudo utilizando o Merge em bacias hidrográficas de maior escala que a do presente estudo tem se mostrado satisfatórios para previsão de vazões, conforme destacaram Jiménez e Collischonn (2015) e nos estudos realizados por Pontes *et al.* (2015) nas bacias do Prata. Em um estudo da precipitação do Ceará, Coutinho *et al.* (2017) compararam o Merge com as estações da Funceme em um estudo de caso referente a uma precipitação observada em abril de 2016. A conclusão foi que o núcleo intenso de precipitação do Merge coincidiu com o observado pela Funceme, mas o produto subestimou o valor da precipitação.

Sobre o ponto de vista da resolução temporal, a estação automática do INMET refere-se ao acumulado de precipitação a cada hora, enquanto o produto MERGE refere-se a varredura do satélite realizada em um determinado intervalo de tempo, com posterior ajuste ou não em relação a estação do INMET. Ou seja, diferentemente do volume estimado, o volume observado na estação do INMET representa o acumulado da chuva naquele intervalo de tempo enquanto o volume estimado de precipitação pelo satélite representa o momento da varredura, o que não necessariamente coincide com o acumulado de precipitação naquele período. Essa diferença de intervalo reflete também nas variações observadas nos gráficos e reflete na análise de erro apresentadas.

Deve-se considerar ainda que as variações da precipitação observadas podem ser características em função do sistema meteorológico atuante naquele caso específico e que a sua duração e intensidade pode ter sido inferior ao tempo de varredura do satélite e por isso não terem isso caracterizados no produto MERGE. Somam-se a estes elementos o fato de a precipitação superestimada poder ser resultante da somatória aos elementos precipitantes e não precipitantes ocasionado pela intensidade da temperatura de brilho.

Ressaltando os elementos anteriormente citados, Moura *et al.* (2010) destacam que os modelos não são capazes de captar os sistemas intensos de certos eventos extremos, apresentando baixa qualidade nas previsões, podendo subestimar ou superestimar a intensidade e o posicionamento destes sistemas meteorológicos em uma determinada região.

Em relação à Raiz do Erro Médio Quadrático (REM_Q) para o intervalo de dados estimados e observados, é possível aferir que os valores dos erros da estimativa de precipitação

do produto MERGE (CPTEC-INPE) em sua grande maioria mantiveram-se dentro de uma amplitude inferior a 10.

Os resultados apresentados na Figura 72 demonstram a amplitude de valores observados na comparação entre os pixels e as estações do INMET. As maiores variações foram nos pixels das estações de Campina Verde (12,86), Sacramento (8,41) Uberaba (20,98) no dia 26 de novembro; em Ituverava (6,71) e Uberaba (4,16) no dia 28 de novembro, e Ituverava (12,25) e Uberaba (3,11) no dia 29. O dia 1º de dezembro se destaca como o dia com o maior número de estações com uma maior variação de valores, sendo observado o fato nas estações Campina Verde (11,73), Ituverava (18,39), Sacramento (19,71) e Uberaba (14,22).

Figura 72- Raiz do Erro Médio Quadrático entre os dados das estações do INMET e o produto Merge (CPTEC-INPE).

Os resultados apresentados na Figura 72 demonstram a amplitude de valores observados na comparação entre os pixels e as estações do INMET. Na figura é possível aferir que as maiores variações foram nos dias 26 e 29 de novembro e no dia 1º de dezembro de 2017.

É importante ressaltar que o dia 1º de dezembro não foi utilizado na simulação no SWMM por não haver registros na mídia que tornasse possível a identificação de um ponto com uma cota de referência para comparação entre a simulação hidráulico com dados observados e estimados pelo SWMM, a amplitude desta variação apenas serviu para identificar a variação dos dados de precipitação estimados pelo produto Merge (CPTEC/INPE) para essa data.

De forma geral, as estações apresentaram uma correlação entre os dados estimados e os observados quando sobre o pixel não havia estimativa de chuva, ou seja, quando o valor da precipitação era zero.

6.7 Resultados dos Critérios da Ferramenta Monte Carlo

Para os sorteios realizados pela ferramenta Monte Carlo para o período compreendido entre as 19 horas (UTC) do dia 27 de novembro de 2017 até as 3 horas (UTC) do dia 28 de novembro de 2017 foram determinadas as condições ilustradas na Tabela 12, como fatores de multiplicação conforme anteriormente descrito no item 6.4.

Nas Tabelas 13 a 17 estão os resultados obtidos nos sorteios para a Área Alfa e Beta pela ferramenta Monte Carlo para as normas descritas na Tabela 13.

Nessas tabelas os resultados dos valores estimados de precipitação para as áreas Alfa e Beta estão dispostos conforme as condições descritas na Tabela 13 em função dos fatores de multiplicação, além disso estão apresentados os valores estimados em função do número de sorteios previamente determinados, ou seja 50, 100, 150 e 200 sorteios.

Tabela 13- Valores de precipitação estimados obtidos pela ferramenta Monte Carlo para a Condição 1.

Condição 1		Área Alfa				Área Beta			
		MC 50	MC 100	MC 150	MC 200	MC 50	MC 100	MC 150	MC 200
27/11	19h	0,12	0,18	0,3	0,18	0,19	0,17	0,2	0,19
	20h	2,61	1,73	1,54	2,14	1,45	1,39	1,37	1,38
	21h	4,14	3,28	3,74	2,64	0,51	0,46	0,43	0,43
	22h	3,14	2,24	2,74	2,58	0,83	0,62	0,79	0,78
	23h	3,66	5,43	3,57	4	2,38	2,42	2,02	2,65
28/11	0h	3,73	3,32	3,46	3,66	6,5	6,77	6,69	6,75
	1h	2,64	1,71	2,02	1,78	5,55	5,56	6,05	5,74
	2h	0,84	1,33	1,11	1,29	3,07	2,83	3,01	3,01
	3h	1,16	1,15	1,44	1,43	0,99	0,92	0,95	0,87

Tabela 14- Valores de precipitação estimados obtidos pela ferramenta Monte Carlo para a Condição 2.

Condição 2		Área Alfa				Área Beta			
		MC 50	MC 100	MC 150	MC 200	MC 50	MC 100	MC 150	MC 200
27/11	19h	0,16	0,19	0,2	0,18	0,11	0,13	0,14	0,13
	20h	1,45	1,29	1,32	1,04	0,85	1,06	1,06	1,05
	21h	1,86	2,29	2,2	1,86	0,33	0,31	0,3	0,33
	22h	1,74	2,15	2,14	1,79	0,6	0,6	0,59	0,6
	23h	3,32	3,45	3,21	2,71	2,37	1,77	1,81	1,84
28/11	0h	2,85	2,81	3,07	3,07	5,28	5,27	5,18	4,9
	1h	1,65	1,81	1,64	1,54	4,54	4,61	4,55	4,37
	2h	1,01	1,34	1,09	1,11	2	2,27	2,61	2,25
	3h	1,1	1,12	1,1	1,08	0,7	0,83	0,76	0,73

Tabela 15- Valores de precipitação estimados obtidos pela ferramenta Monte Carlo para a Condição 3.

Condição 3		Área Alfa				Área Beta			
		MC 50	MC 100	MC 150	MC 200	MC 50	MC 100	MC 150	MC 200
27/11	19h	0,17	0,2	0,21	0,19	0,18	0,19	0,21	0,2
	20h	1,58	2,12	2,27	1,8	1,38	1,44	1,44	1,48
	21h	4,08	2,93	3,34	2,28	0,45	0,46	0,51	0,49
	22h	3,08	3,33	2,96	3,29	0,85	0,79	0,8	0,78
	23h	4,53	4,67	4,49	5,3	2,71	2,67	3,01	2,54
28/11	0h	5,31	4,09	3,86	4,68	7,85	7,64	7,09	7,47
	1h	1,86	2,1	2,56	2,5	6,23	6,9	6,91	7,14
	2h	1,59	1,33	1,51	1,69	3,22	3,83	3,13	3,26
	3h	1,39	1,66	1,47	1,44	1,19	1,34	1,12	1,08

Tabela 16- Valores de precipitação estimados obtidos pela ferramenta Monte Carlo para a Condição 4.

Condição 4		Área Alfa				Área Beta			
		MC 50	MC 100	MC 150	MC 200	MC 50	MC 100	MC 150	MC 200
27/11	19h	0,28	0,41	0,4	0,4	0,22	0,28	0,26	0,27
	20h	2,93	2,84	2,95	2,1	1,66	1,85	1,93	2,14
	21h	4,13	3,59	4,74	4,63	0,61	0,75	0,66	0,72
	22h	4,65	5,53	4,45	4,26	1,26	1,13	1,26	1,19
	23h	6,25	6,96	6,66	6,79	3,05	3,77	4,35	3,33
28/11	0h	5,2	4,87	5,83	5,32	10,17	10,12	11,43	9,88
	1h	3,05	3,21	3,56	3,49	9,33	8,98	9,46	9,7
	2h	2,02	2,17	2,38	1,63	4,41	4,94	4,5	4,49
	3h	1,83	2,48	2,05	2,39	1,55	1,44	1,46	1,63

Tabela 17- Valores de precipitação estimados obtidos pela ferramenta Monte Carlo para a Condição 5.

Condition 5		Área Alfa				Área Beta			
		MC 50	MC 100	MC 150	MC 200	MC 50	MC 100	MC 150	MC 200
27/11	19h	0,41	0,45	0,65	0,76	0,5	0,51	0,52	0,45
	20h	5,49	4,97	3,09	4,76	3,57	3,63	3,58	3,48
	21h	7,06	6,28	7,01	7,09	0,95	1,08	1,16	1,05
	22h	5,72	6,51	6,77	6,83	1,62	2,02	1,93	2,01
	23h	10,1	10,64	9,71	11,58	5,08	5,59	5,39	5,23
28/11	0h	8,2	11,18	9,45	9,24	20,02	18,52	17,18	17,85
	1h	5,93	5,31	4,95	5,43	12,72	14,14	14,25	15,33
	2h	3,27	4,07	4,07	3,13	7,92	8,04	7,4	7,87
	3h	3,57	2,89	3,25	3,55	2,68	2,85	2,45	2,61

Comparando os valores de precipitação estimados para as áreas Alfa e Beta com o os as condições determinadas na Tabela 12 e número de sorteios utilizados é possível verificar que os maiores valores foram observados em sua grande maioria na condição 5 e na área Beta Monte Carlo.

A Figura 73 representa o conjunto de resultados obtidos pela ferramenta Monte Carlo para a área Alfa em função das condições determinadas como fatores de multiplicação, o valor de precipitação observado na estação do INMET –Uberaba A568 e o valor estimado pelo Merge no pixel da estação Uberaba.

Figura 73- Valores de precipitação obtidos na ferramenta Monte Carlo para a área Alfa.

Na Figura 73 se observa que os valores estimados de precipitação pela ferramenta Monte Carlo em qualquer uma das condições propostas não apresentaram uma correlação significativa com o valor observado na estação do INMET, sendo o mesmo observado quando se analisa apenas os dados observados pela estação do INMET e os valores estimados de precipitação no pixel da estação Uberaba, sendo a variação da precipitação de quase 20mm/h para o horário de pico de precipitação da estação do INMET.

A Figura 74 representa o conjunto de resultados obtidos pela ferramenta Monte Carlo para a área Beta em função das condições determinadas como fatores de multiplicação, o valor de precipitação observado na estação do INMET –Uberaba A568 e o valor estimado pelo Merge no pixel da estação Uberaba.

Figura 74- Valores de precipitação obtidos na ferramenta Monte Carlo para a área Beta.

Na Figura 74 se observa que os valores estimados de precipitação pela ferramenta Monte Carlo apresentaram uma melhor correlação com o valor observado na estação do INMET para a condição 5.

Na condição 5, em qualquer um dos sorteios realizados (MC50, MC100, MC150 e MC200) apresentou valores superiores ao do pixel da estação Uberaba. A condição 4 para o MC150 apresentou uma proximidade com o pico estimado pelo pixel do produto Merge.

As demais condições e número de sorteios propostos apresentaram o valor estimado de precipitação para o pico do evento com valores inferiores.

A Figura 75 refere-se à avaliação do produto obtido pela ferramenta Monte Carlo, para as cinco condições propostas no estudo para as áreas Alfa e Beta através da metodologia do Erro Médio, tendo como referência os dados de precipitação observados na estação do INMET –Uberaba A568.

Figura 75- Erro Médio entre os resultados de cada uma das condições e os dados da estação do INMET –Uberaba A568.

Analisando os valores obtidos através da análise do Erro Médio, Figura 75, se observou que a condição 5 apresenta a menor variação de valores. Tal como ilustrou as Figuras 73 e 74, os valores obtidos pela ferramenta Monte Carlos, tanto para a área Alfa quanto para a área Beta foram inferiores aos dados da estação do INMET em Uberaba, ou seja, a média dos valores obtidos com a ferramenta subestimaram os valores de precipitação, mesmo nas condições em que os fatores de multiplicação eram mais altos.

A Figura 75 também ilustra que entre as condições propostas para o estudo, a condição 5 foi a que apresentou a menor variação entre os valores estimados de precipitação propostos e a estação do INMET em Uberaba.

A Figura 76 refere-se à avaliação do produto obtido pela ferramenta Monte Carlo, para as cinco condições propostas no estudo para as áreas Alfa e Beta através da metodologia da Raiz do Erro Médio Quadrático, tendo como referência os dados de precipitação observados na estação do INMET –Uberaba A568.

Figura 76- Raiz do Erro Médio Quadrático entre os resultados de cada uma das condições e os dados da estação do INMET –Uberaba A568.

Analisando os valores obtidos através da análise da Raiz do Erro Médio Quadrático, na Figura 76, foi possível identificar que a condição 2 apresentou a maior variação entre os dados estimados pela ferramenta Monte Carlo e os dados da estação do INMET em Uberaba.

Os valores que apresentaram uma melhor correlação foram os da condição 5, com destaque para a condição 5 MC50 e a condição 5 MC200.

A escolha dos fatores de multiplicação para os cinco critérios analisados na área Alfa e Beta com uma amplitude de valores que permitisse multiplicar os valores estimados obtidos no sorteio realizado pela ferramenta, por valores tanto para mais quanto para menos e com isso estimar diferentes cenários, demonstrou que os valores obtidos para os critérios que possuíam como características fatores de multiplicação maiores apresentaram uma maior correlação com os valores observados para o estudo do evento hidrológico em questão, principalmente para a área Beta.

Por ser a área Beta de tamanho inferior a área Alfa e mais próxima da área urbana, apresentou valores sorteados com maior correlação com os valores observados na estação do INMET em Uberaba (Uberaba A568). Isso se deve ao fato de que o sistema atuante no município também estava representado em grande parte na área Beta, o que favorecia o sorteio de valores desses pixels e com isso a correlação entre os valores em função do sorteio pela ferramenta Monte Carlo foi maior, uma vez que as próprias amostras eram representativas para todo o evento.

Através da Figura 77 pode-se verificar o fato anteriormente citado, o do sistema meteorológico atuante no município para o intervalo amostrado. Nessa figura é possível verificar que para do dia 28 de novembro às 00 UTC o sistema estava praticamente ocupando todo o campo amostral da área Beta, enquanto apenas uma parte da área Alfa era afetado pelo sistema meteorológico, favorecendo com isso o sorteio de valores estimados de precipitação baixos para a área Alfa

Figura 77- Comparação dos valores de precipitação estimados nas áreas Alfa e Beta

Os resultados observados da precipitação estimada pela ferramenta Monte Carlo demonstram que a delimitação da área para simulação dos dados de precipitação pode sub ou superestimar os valores de precipitação estimado e isso poderia fomentar o envio de alertas

desnecessários aos responsáveis pela gestão de risco. Observando a situação para o município de Uberaba para o período analisado, caso fosse utilizado apenas a área Alfa como norteadora para o envio de um alerta à Defesa Civil do município o resultado poderia vir a subestimar a precipitação e com isso o alerta deixaria de ser enviado.

Nesse sentido, uma das opções poderia ser a análise previa do sistema meteorológico nas áreas de Atenção, Vigilância e Prioridade. Nesse sentido haveria uma análise para verificar se o sistema meteorológico está se deslocando para a área de risco para então ser estimado um valor de precipitação pela ferramenta Monte Carlo.

6.8 Características da área de estudo

As características das áreas dos elementos que compõem o sistema de drenagem da Bacia hidrográfica do Córrego das Lages em Uberaba e que são parte integrantes para a modelagem através da ferramenta SWMM foram descritas.

6.8.1 Áreas de drenagem

A bacia hidrográfica do córrego das Lages foi subdividida em áreas conforme informações obtidas nos arquivos disponibilizados pelo Codau. Em locais em que a divisão das sub - bacias não foi identificada nos arquivos, optou-se por limitar as bacias em função das bacias adjacentes a área, obtendo o presente estudo um total de 461 sub - bacias de drenagem e 1180 nós.

A área de drenagem e declividade de cada uma das sub - bacias de drenagens foi utilizada no cálculo realizado pelo SWMM e os resultados obtidos estão descritos no Apêndice C.

O resultado apresentado aponta que a sub- bacia de drenagem que apresentou a maior declividade está localizada na rua João Alfredo, com o percentual de declividade de 0,252%. Embora a bacia hidrográfica do Capão da Igreja não se destaque por não possuir o maior percentual de declividade, ela se destaca por apresentar em grande parte da sua extensão valores de declividade entre 0,10 a 0,15%.

Figura 79- (a) Mapa hipsométrico construído a partir do MDE ASTER; (b) Mapa de declividade; (c) Mapa com as médias de declividade em cada área de drenagem.

6.8.3 Permeabilidade das sub - bacias

A Figura 80 ilustra a porcentagem de impermeabilidade das sub - bacias hidrográficas do estudo. Nota-se a predominância de áreas permeáveis no entorno da área de estudo. As áreas de drenagens consideradas no estudo que apresentaram a porcentagem com maiores áreas impermeáveis estão localizadas na área central, sendo possível também distinguir que estas também margeiam os principais cursos d'água, com destaque para a margem esquerda do

córrego Capão da Igreja e a margem direita para o córrego das Bicas, próximo ao encontro com o córrego das Lages.

A informação contendo a porcentagem de permeabilidade de cada uma das sub - bacias de drenagem está contida no Apêndice D.

Figura 80- Percentual de áreas impermeáveis nas sub - bacias de drenagem do córrego das Lages

A Figura 80 b) representa a área de drenagem urbana do município e a Figura 80 c) representa o percentual de impermeabilidade de cada uma das sub – bacias de drenagem do córrego das Lages.

Para uma gestão de risco relacionada aos eventos hidrológicos é necessário a atualização constante dos dados relacionados à bacia hidrográfica. No que tange a questão da impermeabilidade da bacia hidrográfica e da relação direta com o aumento do pico da vazão, deve se considerar o impacto que a impermeabilização do restante da bacia hidrográfica pode vir a ocasionar no exutório da bacia na área urbana do município e quais medida podem minimizar este impacto.

6.9 Calibração e simulação do SWMM.

Para a calibração do modelo SWMM foi utilizado o período compreendido entre as 19 horas (UTC) do dia 27 de novembro de 2017 até às 03h (UTC) do dia 28 de novembro de 2017, em que o período de precipitação ocorreu das 23h (UTC) do dia 27 até as 3 h (UTC) do dia 28 de novembro de 2017.

Uma vez que somente os valores estimados da área Beta apresentaram uma melhor correlação com os dados observados na estação do INMET em relação aos valores estimados da área Alfa, o presente estudo apenas reportou esses resultados dessas simulações no SWMM.

A seguir são apresentados os resultados da calibração do SWMM em função da largura do escoamento das sub – bacias. Além disso também são apresentados os resultados para as cotas de inundação observadas nas mídias e utilizadas como referência para o presente estudo e os resultados da simulação para os cenários MC 50, MC 100, MC150 e MC200 para a área Beta e do pixel da estação Uberaba.

6.9.1 Resultado da Calibração do SWMM em função da largura do escoamento das sub – bacias.

O primeiro item a ser verificado para a calibração do SWMM foi a largura do escoamento da sub - bacia (W).

Os valores referentes a largura do escoamento da sub - bacia (W) obtidos através da Equação 33 apresentaram resultados de cotas dos nós mais condizentes com os observados

através dos relatos obtidos nas mídias sociais. Destaca-se que os valores obtidos através da Equação 34 apresentaram valores de cotas superior a vinte (20) metros, o que descartou o uso destes resultados neste estudo. Os resultados obtidos para a largura do escoamento da sub- bacia (W) com essas equações podem ser observados no Apêndice E.

As figuras a seguir foram obtidas do *software* SWMM que ilustram os nós para cada hora do evento estudado para a precipitação observada na estação do INMET, em que é possível verificar que a legenda referente a Equação 33 possui como cota máxima para o valor de 5 metros e que a legenda referente a Equação 34 possui a cota máxima de 20 metros e que para essa equação este valor é identificado em diversos nós das sub - bacias dos córregos das Bicas e Lages a partir das 00 h do dia 28 de novembro de 2017 (horário UTC).

As Figuras 81 a 89 representam a comparação ilustrativa de todos os nós da área de estudo para cada um dos intervalos de tempo estipulados para a simulação do evento de inundação.

Figura 81- Comparação entre os resultados obtidos para os nós nas áreas de estudo para a Equação 33 (a) e para a Equação 34(b) para do dia 27 de novembro de 2017 às 21 horas (UTC).

Figura 82- Comparação entre os resultados obtidos para os nós nas áreas de estudo para a Equação 33 (a) e para a Equação 34(b) para do dia 27 de novembro de 2017 às 22 horas (UTC).

Figura 83- Comparação entre os resultados obtidos para os nós nas áreas de estudo para a Equação 33 (a) e para a Equação 34(b) para do dia 27 de novembro de 2017 às 23 horas (UTC).

Figura 84- Comparação entre os resultados obtidos para os nós nas áreas de estudo para a Equação 33 (a) e para a Equação 34(b) para do dia 28 de novembro de 2017 às 00 horas (UTC).

Figura 85- Comparação entre os resultados obtidos para os nós nas áreas de estudo para a Equação 33 (a) e para a Equação 34(b) para do dia 28 de novembro de 2017 às 01 horas (UTC).

Figura 86- Comparação entre os resultados obtidos para os nós nas áreas de estudo para a Equação 33 (a) e para a Equação 34(b) para do dia 28 de novembro de 2017 às 02 horas (UTC).

Figura 87- Comparação entre os resultados obtidos para os nós nas áreas de estudo para a Equação 33 (a) e para a Equação 34(b) para do dia 28 de novembro de 2017 às 03 horas (UTC).

Figura 88- Comparação entre os resultados obtidos para os nós nas áreas de estudo para a Equação 33 (a) e para a Equação 34(b) para do dia 28 de novembro de 2017 às 04 horas (UTC).

Figura 89- Comparação entre os resultados obtidos para os nós nas áreas de estudo para a Equação 33 (a) e para a Equação 34(b) para do dia 28 de novembro de 2017 às 05 horas (UTC).

A variação entre os resultados a partir da calibração do SWMM em função da largura do escoamento das sub – bacias, ou seja, através das Equações 35 e 36 podem ser justificadas em função do valor resultante da vazão.

Sendo a vazão do canal de drenagem influenciado pelo valor da largura do escoamento da sub – bacia, os resultados desmontaram que para a calibração da bacia do córrego das Lages foram aqueles obtidos pela Equação 33.

Em relação aos elementos que mais influenciaram nos resultados da modelagem pelo SWMM, o presente estudo não comparou a impermeabilidade das sub - bacias hidrográficas da área de estudo, ele apenas considerou como possibilidade de análise a adoção de duas equações para o cálculo da largura da bacia hidrográfica (W) das sub- bacias, sendo este um parâmetro destacado por Zaghloul (1983) para a análise de sensibilidade do bloco Runoff.

Considerando os resultados apresentados, foi possível distinguir que o uso da Equação 33 para o cálculo da largura da bacia hidrográfica aumentou o pico do escoamento superficial,

fomentando resultados nas cotas superiores a 20 (vinte) metros, o que não condiz com a realidade do evento hidrográfico em questão.

Melhores ajustes seriam possíveis se houvesse informações mais detalhadas sobre cada uma das sub- bacias, o que possibilitaria o melhor refinamento destas informações, tornando possível a tomada de decisão quanto ao agrupamento de informações que poderiam auxiliar na redução do tempo de processamento (ZAGHLOUL, 1983; BELING *et al.* 2011) e na simplificação da bacia hidrográfica estudada.

6.9.2 Resultado da Calibração do SWMM

A seguir são apresentados os resultados referentes a calibração da bacia hidrográfica do córrego das Lages, utilizando os valores obtidos com a primeira equação para a largura do escoamento da sub- bacia (W) (Equação 33) e para a precipitação observada na estação do INMET – Uberaba-A568.

As Figuras 90 e 91 representam os pontos utilizados para a calibração, sendo ambos localizados na avenida Santos Dumont, representando o córrego das Bicas. Para esses dois nós, a modelagem do SWMM apontou que o nó B4 atingiu a cota estimada do evento hidrológico.

Figura 90- Cota de transbordamento da Avenida Santos Dummont no ponto de calibração da margem esquerda.

Figura 91- Cota de transbordamento da Avenida Santos Dummont no ponto de calibração da margem direita.

As Figuras 92 e 93 representam os pontos utilizados para a calibração, sendo ambos localizados na avenida Leopoldino de Oliveira, representando o córrego das Lages. Para esses dois nós, a modelagem do SWMM apontou que o nó 1481 superou a cota estimada do evento hidrológico e o nó 1480 atingiu a cota de 4,3m, sendo a cota estimada para o evento de 4,5m.

Figura 92- Cota de transbordamento da avenida Leopoldino de Oliveira no ponto de calibração da margem direita.

Figura 93- Cota de transbordamento da avenida Leopoldino de Oliveira no ponto de calibração da margem esquerda.

Embora os nós B3 e 1480 não tenham atingido a cota estimada do evento hidrológico, em ambos os casos o nível da cota do evento de calibração foi superior à cota do nó, ou seja, houve inundação sem atingir o nível considerado pela análise dos locais visitados.

Deve-se considerar que não foi possível aferir se durante o evento hidrológico houve uma cota superior à identificada na mídia em algum instante, o presente estudo considerou razoável o registro para o nó B4, mas considerou elevado o valor obtido para o nó 1481, uma vez que isso representa uma inundação na via de pouco mais que dois metros.

Embora essa calibração tenha sido superior neste ponto, a análise realizada no ponto 1480 que está localizado na mesma rua e na mesma altura, porém na outra margem do canal, demonstrou que o nível da água neste nó foi superior à cota de transbordamento, mas não atingiu o mesmo nível registrado no ponto 1481. Desta forma, embora a escolha de análise do SWMM tenha sido a da Onda Dinâmica, não se observou para esse caso uma redistribuição da água para o próximo nó e por isso, foi considerada como razoável a calibração obtida com a precipitação do INMET.

Para minimizar este tipo de erro, em que nós localizados no mesmo canal, porém em margens opostas tenham valores diferentes no que tange a inundação da via pública seria necessária a simplificação da modelagem hidráulica através da adoção de um único canal.

6.9.3 Resultado da simulação do SWMM

As Figuras 94 e 95 representam os valores obtidos nas simulações propostas para os nós localizados na avenida Santos Dumont, representando o córrego das Bicas.

Figura 94- Cota de transbordamento da Avenida Santos Dummont no ponto de calibração da margem esquerda.

Figura 95- Cota de transbordamento da Avenida Santos Dummont no ponto de calibração da margem direita.

Os resultados obtidos com a simulação hidráulica no SWMM para os pontos com cota de referência para o evento de hidrológico ocorrido na área urbana do município de Uberaba para o córrego das Bicas demonstraram que para nó B3 todas as simulações propostas subestimaram o evento hidrológicos e não houve extravasamento do nó.

Para o nó B4, as simulações hidráulicas demonstraram se satisfatórias para as simulações Monte Carlo 50, 100 e 200 por terem atingido a cota estimada do evento hidrológico. Já as simulações utilizando os valores estimados de precipitação do Merge no pixel da estação Uberaba e o Monte Carlo 150 demonstraram subestimar a cota do evento hidrológicos para esse nó.

As Figuras 96 e 97 representam os pontos utilizados para a calibração, sendo ambos localizados na avenida Leopoldino de Oliveira, representando o córrego das Lages.

Figura 96- Cota de transbordamento da avenida Leopoldino de Oliveira no ponto de calibração da margem direita.

Figura 97- Cota de transbordamento da avenida Leopoldino de Oliveira no ponto de calibração da margem esquerda.

Os resultados obtidos com a simulação para os pontos com cota de referência para o evento de hidrológico ocorrido na área urbana do município de Uberaba para o período estudado demonstraram que o nó 1481, referente a um ponto da avenida Leopoldino de Oliveira na margem esquerda, apresentou as melhores correlações do que o nó 1480 por ter atingido a cota de estimada do evento hidrológico para as simulações Monte Carlo 50 (cota 3,93m), 100 e 200 (cota 3,9m).

O resultado da simulação Monte Carlo 150 para o nó 1481 foi satisfatório por ser superior a cota de transbordamento, no entanto não atingiu a cota estimada para o evento hidrológico do evento hidrológico estudado, sendo este mesmo fato observado para as simulações Monte Carlo 50, 100 e 200 do nó 1480. Em relação ao nó 1480, a simulação Monte Carlo 150 apresentou valor inferior a cota de transbordamento do nó.

Em ambos os nós com estimada para o evento do córrego das Lages, a simulação hidráulica com os dados de estimados de precipitação do Merge para o pixel da estação Uberaba demonstraram subestimar a cota do evento hidrológicos, não havendo em nenhum dos casos a inundação da via pública por água.

Novamente observa-se que nós localizados no mesmo canal, porém em margens opostas tiveram apresentaram valores satisfatórios como o nó B3 e B4 e isso se deve à forma como a

rede de drenagem foi estruturada no SWMM e se fosse adotado a simplificação da rede de drenagem com a adoção de apenas um canal, não haveria essa diferenciação.

6.9.4 Resultado da simulação do SWMM para os demais pontos considerados no estudo.

Considerando que os registros de média apenas possibilitaram a identificação de dois locais para a estimativa da cota de inundação para o evento hidrológico do dia 27 de novembro, os resultados a seguir são referentes as simulações Monte Carlo para os nós mais próximos desses nós. A disposição de cada nó pode ser observada na Figura 98 e a informação sobre cada sub- bacia hidrográfica pode ser encontrado na Tabela 10, anteriormente descrito na metodologia.

Figura 98– Localização dos nós analisados no estudo.

As Figuras 99 até 102 representam os nós localizados no Córrego das Bicas.

Figura 99 – Nó B1 margem esquerda da Avenida Santos Dumont.

Figura 100 – Nó B2 margem direita da Avenida Santos Dumont.

Figura 101 – Nó 1607 margem esquerda da Avenida Santos Dumont.

Figura 102 – Nó 1379 margem direita da Avenida Santos Dumont.

Para os nós localizados no córrego das Bicas a montante da cota estimada para o evento, nota-se na simulação hidráulica dos nós localizados mais a montante (B1 e B2) que os valores obtidos com a simulação foram inferiores aos valores dos nós 1607 e 1379 que são os nós mais próximos dos nós com cotas estimadas de referência (B3 e B4) no córrego das Bicas.

Este processo ocorre devido à vazão afluentes que ocorre ao longo do canal de drenagem pelas sub - bacias localizadas entre os nós.

As Figuras 103 e 104 representam os nós no localizados no córrego do Comércio.

Figura 103 – Nó Co1 localizado na Avenida Doutor Fidelis Reis.

Figura 104 – Nó Co2 localizado na Avenida Doutor Fidelis Reis, próximo à rua Leopoldino de Oliveira.

Os nós Co1 e Co2 localizados no córrego do comércio, especificamente a montante e a jusante respectivamente não apresentaram nas simulações hidráulicas propostas extravasamentos dos nós. Nota-se que para o nó Co2, exceto para a simulação Monte Carlo 150, as demais simulações apresentaram valores altos, próximos a cota de extravasamento. Por

este nó estar localizados próximo ao nó *6 do córrego das Lages, este pode ter influenciado a elevação do nível da água no poço de visita.

A Figuras 105 e 106 representa os nós localizados no córrego Capão da Igreja.

Figura 105– Nó CI2 localizado na margem esquerda da avenida Guilherme Ferreira.

Figura 106– Nó CI3 localizado na margem direita da avenida Guilherme Ferreira.

Nestes nós é possível observar que as simulações hidráulicas propostas apresentaram valores dos níveis da água nos poços de visita inferiores à cota de transbordamento. Por não

haver cota estimada para o córrego Capão da Igreja localizado na avenida Guilherme Ferreira não foi possível determinar se a simulação hidráulica subestimou ou superestimou as cotas de transbordamentos apresentados no SWMM.

A seguir, os nós analisados da bacia do córrego das Lages.

Figura 107– Nó *3 localizado na margem esquerda do córrego das Lages na avenida Leopoldino de Oliveira, após o córrego das Bicas.

Figura 108– Nó *4 localizado na margem direita do córrego das Lages na avenida Leopoldino de Oliveira, após a avenida Santos Dumont.

Os nós *3 e *4, Figuras 107 e 108 respectivamente, representam o córrego das Lages após a junção com o córrego das Bicas. Nesses dois pontos foi possível observar o extravasamento dos nós.

Considerando que os nós 1480 e 1481 possuíam cota estimada do evento hidrológico e que a cota estimada representava a elevação de um metro acima da cota de transbordamento, fazendo a mesma estimativa de altura para os nós devido à proximidade do local, foi possível aferir que o nó *3 atingiria essa possível cota estimada, exceto para a simulação Monte Carlo 150 e pelo pixel da estação do Merge em Uberaba e que o nó *4 atingiria a via pública exceto para as mesmas simulações.

Figura 109– Nó 170 referente a junção do córrego das Bicas margem direita com a margem esquerda do córrego das Lages na avenida Leopoldino de Oliveira.

O nó 170 está localizado na margem esquerda do córrego das Lages e na junção com a margem direita do córrego das Bicas. Neste nó observa-se que todas as simulações propostas apresentaram cotas acima da capacidade do nó, transbordando água na via pública. O pixel da estação do Merge em Uberaba apresentou valores de nó dentro da capacidade do conduto e por isso não transbordou.

Figura 110– Nó *5 localizado na margem esquerda do córrego das Lages na avenida Leopoldino de Oliveira, após a avenida Fidélis Reis.

Figura 111– Nó *6 localizado na margem direita do córrego das Lages na avenida Leopoldino de Oliveira, após a avenida Fidélis Reis.

Os nós *5 e *6 estão localizados após ao córrego do Comércio, localizado na avenida Fidélis Reis. Assim como o córrego do comércio, esses pontos não transbordaram em nenhuma das simulações propostas.

Figura 112– Nó *7 localizado na margem esquerda da avenida Leopoldino de Oliveira após o córrego Capão da Igreja.

Figura 113– Nó *8 localizado na margem direita da avenida Leopoldino de Oliveira após o córrego Capão da Igreja

Os nós *7 e *8, Figuras 112 e 113, localizados no córrego das Lages no encontro com o córrego Capão da Igreja. Esses nós não transbordaram, assim como os nós localizados no Capão da Igreja (CI2 e CI3) analisados no presente estudo.

Analisando todos os nós em função da escolha por modelo hidráulico no SWMM em função da Onda Dinâmica, nota-se que a propagação da cheia entre os nós do mesmo canal, mas não para aqueles localizados na mesma avenida. Como por exemplo pode ser observado

nos nós *3 e *4 no córrego das Lages, em que o nó *3 apresentou cotas superiores ao nó *4 e estando na mesma via, a partir do extravasamento do canal de drenagem, a via pública se torna um único canal superior de escoamento da água.

Para a correção deste fato, a simplificação do sistema de drenagem através da adoção de um único canal de drenagem pode ser a solução.

Observando os elementos hidráulicos que podem ter influenciado os resultados obtidos, destaca-se, conforme já citado por Zaghloul (1983), Garcia (2005) e Beling *et al.* (2011) a impermeabilidade da bacia hidrográfica altera sensivelmente o valor do escoamento superficial, sendo este o principal fator a ser observado.

Sobre esse aspecto, a adoção de valores mais detalhados sobre cada loteamento, obtidos através da análise dos documentos municipais referentes ao imposto de cada um dos lotes pode auxiliar na identificação de sub – bacias com maior potencial para aumento do pico de vazão, além de ser uma importante ferramenta quando se trata de gestão de risco, pois pode ser avaliada ao longo dos anos o impacto da impermeabilização do solo sobre as áreas e o aumento do risco de evento hidrológicos.

As referências sobre as características da bacia hidrográfica do córrego das Lages citam que a densidade de drenagem é de 0,97km/km² e o formato circular da bacia hidrográfica fomentam os eventos hidrológicos, associados aos elementos históricos de uso e ocupação do solo que ao longo dos anos, favorecem a ocorrência de eventos hidrológicos.

A ausência de algumas informações que caracterizam detalhadamente a bacia podem ter ocasionado o fato de alguns pontos não terem tido extravasamento do canal, com destaque para o córrego do Comércio e o córrego Capão da Igreja quando vertem no canal das Lages.

Em relação à duração do evento hidrológico, analisando os gráficos, observa-se que a linha temporal se estende em relação ao que foi divulgado pela mídia. Os resultados obtidos com a simulações apontam, considerando os nós com cota de referência para o transbordamento utilizadas no estudo, para um evento hidrológico com um tempo de duração por volta de duas horas, enquanto os registros observados na mídia não relatam o mesmo tempo para o evento de enxurrada.

Para uma melhor análise temporal do evento hidrológico seria necessária a implantação de um posto fluviométrico na bacia do córrego das Lages e caso isso não seja possível em função da canalização do córrego, uma outra media possível seria a implantação pontos de referência em locais em que já existem câmara de vigilância, como as já comumente utilizadas para monitoramento do fluxo de veículos.

A simplificação do modelo hidráulico, com a adoção de um único canal para os córregos que apresentem margem direita e esquerda e o melhor detalhamento das informações do sistema de drenagem da bacia poderiam propiciar um melhor ajuste da duração do evento hidrológico.

Em relação ao uso da ferramenta Monte Carlo em centros de monitoramento hidrológicos para o envio de alerta, os resultados observados nos gráficos apontam favoravelmente para o uso do SWMM como uma ferramenta de análise da capacidade do sistema de drenagem urbano quando associado a uma ferramenta de estimativa de precipitação. Analisando a ferramenta Monte Carlo como um instrumento para antecipação de ações da Defesa Civil, a sua inserção em um *software* de simulação hidráulica possibilita ao gestor do sistema de alerta de desastre a tomada de decisão.

Considerando que nem todos os nós analisados no estudo atingiram a cota de extravasamento (*5, *6, *7, *8, CI 2, CI3, Co1, Co2, B1, B2, B3, 1607 e 1379) para a precipitação observada na estação do INMET, o sistema de alerta poderia estar subestimando os eventos hidrológicos. Sobre este aspecto, os registros da mídia relatam a severidade do evento no córrego das Bicas e na das Lages e a parte final do projeto Água Viva em relação aos canais de drenagem estavam localizadas a montante do córrego das Bicas.

Parte da solução para este fato estaria em agrupar as bacias hidrográficas após uma nova análise do sistema de drenagem e com isso caracterizá-las de forma mais simplificada, o que auxiliaria no tempo de processamento. Além disso, a análise continua de novos eventos auxiliará na obtenção de novos limiares para futuros eventos hidrológicos e análise da gestão de risco, sem contar que o processo contínuo de avaliação do sistema também consideraria as manutenções e expansão do sistema de drenagem urbano e também a inserção de novas ferramentas de monitoramento, como por exemplo radares e imagens de satélites com intervalo de tempo menores.

7 CONCLUSÃO

A atmosfera é um sistema caótico e não é possível prever com exatidão qual será o valor da precipitação que irá ocorrer em um determinado local. A imprecisão deste valor é dada por diferentes sistemas atmosféricos e quando somada a análise do escoamento superficial e os diferentes elementos urbanos que constituem o sistema de drenagem urbano, corroboram para a incertezas quanto a análise de um potencial evento deflagrador de enxurradas em áreas urbanas.

Neste âmbito, o presente estudo visou através da ferramenta Monte Carlo, a inserção de uma estimativa de precipitação no *software* SWMM, de forma a auxiliar na tomada de decisão para verificar se um determinado sistema atmosférico poderia ser deflagrador de um evento hidrológico em uma área urbana.

Sobre esta perspectiva, o uso da ferramenta Monte Carlo mostrou-se satisfatório, uma vez que apontou através das análises das cotas estimadas dos nós do sistema de drenagem urbano do município de Uberaba na bacia do córrego das Lages, que haveria um evento hidrológico.

Nas propostas sugeridas neste estudo, a área Beta apresentou melhores resultado. Este fato se deve por esta possuir uma área menor, e considerando que o sistema meteorológico atuante no caso estudado não era similar para toda a área de precipitação (área Alfa), a área Beta acabou por uma ter chance maior de sorteio de valores estimados de precipitação (metodologia Monte Carlo) mais próximos dos valores dos dados observados na estação do INMET em Uberaba.

A análise do sistema de drenagem em função de uma estimativa de precipitação pode auxiliar os gestores na tomada de decisão de medidas simples como isolamento das principais vias públicas e até mesmo na retirada de pessoas de possíveis áreas de risco, diminuindo assim o número de pessoas afetadas e essa metodologia pode ser replicada para municípios que apresentam históricos de eventos hidrológicos.

8 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como recomendação para trabalhos futuros que possam complementar o presente estudo e auxiliar na tomada de decisão para a minimização de impactos relacionados aos eventos hidrológicos em áreas urbanas, sugere-se:

- Realizar novos levantamentos nas áreas urbanas que não possuem informações sobre o sistema de drenagem;
- Implementar a metodologia desenvolvida em um centro de monitoramento de desastre natural;
- Inserir dados de radares quando disponíveis, e com isso diminuir o intervalo temporal utilizado no estudo;
- Divulgar para os gestores municipais as características do SWMM e seus potenciais usos.
- Limitar a área de influência da ferramenta Monte Carlo para aquelas em se observa uma variação da precipitação em relação ao horário anterior.

9 REFERÊNCIA

ABOU EL-MAGD, I.; *et al.* GIS-modelling of the spatial variability of flash flood hazard in Abu Dabbab catchment, Red Sea Region, Egypt. **The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science**, v. 13, n. 1, p. 81-88, 2010. ISSN 1110-9823, <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejrs.2010.07.010>.

AHLMAN, S. **Modelling of substance flows in urban drainage systems**. Chalmers University of Technology, 2006.

ALLASIA, Daniel G.; VILLANUEVA, Adolfo O. N. Custo da Incerteza na Macrodrenagem Urbana I: Determinação dos Parâmetros mais Sensíveis na Modelagem de Macrodrenagem Urbana. **RBRH — Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. v. 12 n.1, p.65-77, Jan/Mar 2007.

ALLASIA, Daniel G.; VILLANUEVA, Adolfo O. N. Custo da Incerteza na Macrodrenagem Urbana II: Influência do Erro na Estimativa do CN Sobre o Custo de Investimento da Rede. **RBRH — Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. v. 12 n.1, p.79-90, Jan/Mar 2007.

ALVES, L.G.S. *et al.* Evaluation of alternatives for reducing flow peaks in an urban watershed. In: **6th Internacional Conference on Flood Management**, 2014, São Paulo, SP. Proceedings of 6th International Conference on Flood Management. São Paulo, 2014.

ANDRADE JUNIOR, A. S. de; FRIZZONE, J. A.; SENTELHAS, P. C. Simulação da precipitação diária para Parnaíba e Teresina, PI, em planilha eletrônica. **Rev. bras. eng. agríc. ambient.**, Campina Grande, v. 5, n. 2, p. 271-278, May 2001. Available from <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662001000200016&lng=en&nrm=iso>.

ANDRIEU, H. *et al.* Use of a weather radar for the hydrology of a mountainous area .1. Radar measurement interpretation. **Journal of Hydrology**, v.193, n.1-4, pp.1-25, Jun 1997.

ANJOS, G. R., *et al.* Simulação numérica das equações de Saint Venant utilizando o método dos elementos finitos. In: **16 POSMEC—Simpósio de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica**. Uberlândia, Brasil, 2006.

APU- Arquivo Público de Uberaba.

ARAUJO, A. N.; GUETTER, A. K. Validação da Chuva Estimada por Satélite “CMORPH” na modelagem Hidrológica do Alto Iguaçu. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 12, p. 189-198, 2007.

BABAEI, S.; GHAZAVI, R.; ERFANIAN, M. Urban flood simulation and prioritization of critical urban sub-catchments using SWMM model and PROMETHEE II approach. **Physics and Chemistry of the Earth**, Parts A/B/C, 2018, ISSN 1474-7065, Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1474706517301584>).

BAPTISTA, M. B., *et al.* Hidráulica aplicada. **Coleção ABRH**, v. 8, 2003.

BARROS, M.T.L.; BRAGA JR B.P.F. São Paulo Flood Warning System System : Integrating Different Levels of Data Quality and Availability. In: **2nd. International. Symposium on Hydrological**, Applications of Weather Radar, Hannover, Alemanha, 1992. In: 2nd. International. Symposium on Hydrological, Applications of Weather Radar, Hannover, Alemanha, 1992.

BARTH, F. T.; *et al.* **Modelos para gerenciamento dos recursos hídricos**. Ed Nobel, São Paulo, 526p, 1987.

BELING, F. A., *et al.* Analysis of the SWMM Model Parameters for Runoff Evaluation in Periurban Basins from Southern Brazil. **12nd International Conference on Urban Drainage**, Porto Alegre/Brazil, September, 2011.

BENETI, C.; CALVETTI, L.; PEREIRA FILHO, A.J. Estimativa da precipitação por radar e pluviômetros na Região Metropolitana de Curitiba - Resultados Preliminares. XII CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 2002, Foz do Iguaçu, PR. **Anais do XII Congresso Brasileiro de Meteorologia**. Foz do Iguaçu, 2002.

BERTONI, J. C.; TUCCI, C.E.M. **Precipitação**. In TUCCI, C.E.M. (Org) Hidrologia: ciência e aplicação. 2 ed. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 177-242, 1993.

BORGA, M; *et al.* Flash flood forecasting, warning and risk management: The HYDRATE project. **Environ. Sci. Policy**, v. 14, n.7, p. 834-844, 2011.

BOUCHER, M.A., ANCTIL, F., PERREAULT, L., TREMBLAY, D.: A comparison between ensemble and deterministic hydrological forecasts in an operational context, **Adv. Geosci.**, v. 29, p. 85-94, 2011, Disponível em: <https://doi.org/10.5194/adgeo-29-85-2011>.

BRASIL. Instrução Normativa nº1, de 24 de agosto de 2012. Estabelece procedimentos e critérios para a decretação de situação de emergência ou estado de calamidade pública pelos Municípios, Estados e pelo Distrito Federal, e para o reconhecimento federal das situações de anormalidade decretadas pelos entes federativos e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 30 ago. 2012. Seção 1, p.30.

BRASIL. Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007. Institui as diretrizes nacionais para o saneamento básico e a Política Federal de Saneamento Básico no Brasil. **Diário Oficial da União**, Brasília, 2007.

BRASIL. Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil. (Org.). **Sistema Integrado de Informações sobre Desastres S2ID**. 2015. Disponível em: <<http://s2id.mi.gov.br/>>. Acesso em: 03 mar. 2015.

BRIGHENTI, T. M.; BONUMÁ, N. B.; CHAFFE, P. L. B. Urban floods: models used in Brazil. **Anais: 6th Internacional Conference on Flood Management**. São Paulo. Brazil. 2014

CALVETTI, L. *et al.* Estimativas de precipitação por radar, pluviômetros e satélite para previsão hidrometeorológica no Paraná. CONGRESO PARAGUAYO DE RECURSOS HÍDRICOS, 2005, Hernandarias, Paraguai. **Anales del Congreso Paraguayo de Recursos Hídricos**. Hernandarias, Asociacion Paraguaya de Recursos Hidricos / Itaipu Binacional, 2005.

CAMPOS, E. F. de. **Avaliação da distribuição da chuva nas vazões máximas urbanas usando dados de radar e de pluviógrafo**, 2009. 156f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, 2009.

CANHOLI, A. P. **Drenagem urbana e controle de enchentes**. Oficina de Textos; São Paulo, 2014, 2º edição.

CARDOSO, C.A; *et al.* Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Rio Debossan, Nova Friburgo, RJ. **Revista Árvores**, v.30, p. 241-248, 2006.

CARUZZO, A. *et al.* Decisão em Condições de Incerteza Meteorológica e Proteção de Infraestruturas no Centro de Lançamento de Alcântara. **Rev. bras. meteorol.** São Paulo, v. 32, n.1, p.141-155, Mar. 2017. Available from <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-77862017000100141&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 10 Mar. 2018. <http://dx.doi.org/10.1590/0102-778632120160045>.

CARVALHO, M. de. **Calibration models multiobjective optimization evolutionary algorithms urban drainage**. 2011. 41 f. Dissertação (Mestrado em Engenharias) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2011.

CEMADEN. Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais. Previsão de vazão para bacia do Rio Madeira. Disponível em : << <http://www.cemaden.gov.br/10042018-previsao-de-vazao-para-bacia-do-rio-madeira/>>> . Acesso em 10/04/2018.

CEPED – CENTRO UNIVERSITÁRIO DE ESTUDOS E PESQUISAS SOBRE DESASTRES. **Atlas Brasileiro de Desastres Naturais: 1991 a 2012**. 2ªed. Florianópolis: CEPED/UFSC, 2013.

CHEN, Y. *et al.* Urban flood risk warning under rapid urbanization. **Environmental Research**, v.139, p.3-10, 2015.

CHOI, K.; BALL, J. E. Parameter Estimation for Urban Runoff Modelling. **Urban Waterst**, v.4, n.1, p. 31 – 41, 2002.

CLOKE, H. L.; PAPPENBERGER F. Ensemble flood forecasting: A review. **Journal of Hydrology**, v. 375, n. 3–4, p. 613–626, 2009. ISSN 0022-1694, <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2009.06.005>.

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022169409003291>).

Centro Operacional de Desenvolvimento e Saneamento de Uberaba – CODAU. **Banco de Dados** (2015).

COLLIER. C. G. Flash flood forecasting: What are the limits of predictability? **Quarterly Journal Of The Royal Meteorological Society**, v. 133, p.3–23, 2007.

COLLISCHONN, B.; **Uso de precipitação estimada pelo satélite TRMM em modelo hidrológico distribuído**. 2006. 193f. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

COLLISCHONN, W.; TASSI, R. **Introduzindo Hidrologia**. Porto Alegre: UFRGS/ IPH, 2008. Disponível em: <http://197.249.65.74:8080/biblioteca/bitstream/123456789/687/1/INTRODU%C3%87%C3%A9O%20A%20HIDROLOGIA.pdf> Acesso em: 23/07/2017.

COLLODEL, M. G. **Aplicação do modelo hidrológico SWMM na avaliação de diferentes níveis de detalhamento da bacia hidrográfica submetida ao processo de transformação chuva-vazão**. 2009. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.

CONTI, G. N. **Estimativa de precipitação através de Técnicas de Sensoriamento remoto: Estudo de caso para o estado do Rio Grande do Sul**. 2002. 166f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) - Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

CORRÊA, L. D. L. P. **Análise estratégica de decisão aplicada à seleção de áreas para expansão urbana visando o controle de inundações na área urbana do município de Uberaba**. 2003. 107f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2003.

COUTINHO, M. D. L.; SAKAMOTO, M. S. Análise sinótica da intensa precipitação observada no litoral do Ceará em 7 de abril de 2016. **Geosp – Espaço e Tempo (Online)**, v. 21, n. 3, p. 858-871, dez. 2017. ISSN 2179-0892.

CPTEC/INPE - CENTRO DE PREVISÃO DE TEMPO E ESTUDOS CLIMÁTICOS / INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Satélite e precipitação**. Disponível em <http://sigma.Cptec.inpe.br/prec_sat/#>. Acesso em: 17 Jul. 2015.

CUO, L.; PAGANO, T. C.; WANG, Q. J. A Review of Quantitative Precipitation Forecasts and Their Use in Short- to Medium-Range Streamflow Forecasting. **Journal of Hydrometeorology**, v. 12, p. 713-728. 2011.

DANTAS, S. M. Entre sete colinas: histórias e memórias na configuração do patrimônio de Uberaba. **Revista de História Regional**, v. 18, n.1, p. 224-238, 2013. Disponível em: <<http://www.revistas2.uepg.br/index.php/rhr>>. Acesso Outubro 2017.

DEMUTH, J.L.; *et al.* Creation and Communication of Hurricane Risk Information. **B Am Meteorol Soc**, v. 93, n. 8, p. 1133-1145, 2012.

DE PAULA, S. C. **Precipitação estimada por satélite para uso em modelo concentrado chuva-vazão aplicado em diferentes escalas de bacias**. 2015. 168f. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2015.

DONATELLI, G. D.; KONRATH, A. C. Simulação de Monte Carlo na Avaliação de Incertezas de Medição Monte Carlo. **Revista de Ciência & Tecnologia**, v. 13, n. 25/26, p. 5-15, 2005.

DOSWELL, C. A., *et al.* A Flash flood forecasting: An ingredients-based methodology. **Wea. Forecasting**, v.11, p.560–581, 1996.

DUTRA E CAMPOS, M. F.; GOUVÊA JÚNIOR, M. M. Previsão de precipitações utilizando a técnica de previsão por conjuntos e um algoritmo baseado no vizinho mais próximo. **Anais:**

XXXVII Congresso da Sociedade Brasileira de Computação. São Paulo, SP, p. 840-849, 2017.
Disponível em: <http://csbc2017.mackenzie.br/anais>. Acesso: 11/03/2018.

EL BASTAWESY, M.; AL HARBI, K.; HABEEBULLAH, T. The hydrology of Wadi Ibrahim Catchment in Makkah City, the Kingdom of Saudi Arabia: the interplay of urban development and flash flood hazards. **Life Sci. J**, v. 9, n. 1, p. 580-589, 2012.

ELLIOTT, A.H.; TROWSDALE, S.A. A review of models for low impact urban stormwater drainage. **Environmental Modelling & Software**, Volume 22, Issue 3, 2007, Pages 394-405, ISSN 1364-8152, <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2005.12.005>.
(<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364815206000053>)

EM-DAT. **International Disaster Database**. Universidade Católica de Louvain, Bruxelas, Bélgica. Disponível em: <<http://www.emdat.be/classification>>. Acesso em: 08 de nov. 2016

EPA. SWMM Windows Interface User's Manual. **United States Environmental Protection Agency**. Office of Water. EPA-823-B-95-008. September 1995.

FAN, F.M; *et al.* Ensemble streamflow forecasting experiments in a tropical basin: the São Francisco river case study. **J Hydrol**, v. 5, n.19, p.2906–2919, 2014.
doi: [10.1016/j.jhydrol.2014.04.038](https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.04.038)

FAN, F.M; *et al.* Flood forecasting on the Tocantins River using ensemble rainfall forecasts and real-time satellite rainfall estimates. **J Flood Risk Manag**, 2015. doi: [10.1111/jfr3.12177](https://doi.org/10.1111/jfr3.12177).

FAN, F. M., RAMOS, M.H., COLLISCHONN, W. Sobre o uso de previsões hidrológicas probabilísticas para tomada de decisão. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 20, n.4, p.914–926, 2015.

FERNANDES, C. V.; PEIXOTO, A. S. P.; KAISER, I. M. Análise de Agentes Desencadeadores de Desastres Naturais Utilizando Simulação de Monte Carlo. **Anais: XIX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica**. Salvador, Bahia, 28 de agosto a 01 de setembro de 2018.

FERREIRA, A. G. **Meteorologia Prática**. São Paulo: Oficina do Texto, 2006. 188p.

FERREIRA, A. M. **Capacidade de autodepuração no médio e baixo cursos do rio Uberaba, UPGRH- GD8**. 2014. 113f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG, 2014.

FERREIRA, A. M.; POLETO, C. Avaliação dos eventos históricos no Brasil nos últimos 7 anos. 5ª REUNIÃO DE ESTUDOS AMBIENTAIS / II SIMPÓSIO SOBRE SISTEMAS SUSTENTÁVEIS, 2015, Porto Alegre, RS. **Anais da 5ª Reunião de Estudos Ambientais e II Simpósio Sobre Sistemas Sustentáveis**, Porto Alegre, 2015.

FERREIRA, A. M.; POLETO, C. Eventos hidrológicos no Brasil. In: POLETO, C. (Org.). **Estudos Ambientais**. Vol. 3. 1ªed. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2017.

FERREIRA, A.M.; POLETO, C.; BARBAROTTO JUNIOR, J. L. Diagnóstico da cobertura hidrometeorológica do monitoramento de eventos hidrológicos extremos no Brasil. **Anais: XXII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**. Florianópolis, SC, 2017.

FINKLER, T. F. **Desenvolvimento de uma ferramenta para obtenção de modelos empíricos**. 2003. 114f. Dissertação (Mestrado)- Programa de Pós Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2003.

FLEISCHMANN, A.S. *et al.* Uso de dados de precipitação de satélite MERGE/CPTEC para modelagem hidrológica de grandes bacias. Salão UFRGS 2014: **Feira de inovação tecnológica da UFRGS – FINOVA**. Porto Alegre. 2014.

FLORENZANO, T. G. **Os satélites e suas aplicações**. Série Especializando. São José dos Campos: SINDCT, 2008.

FORMIGA, K. T. M. *et al.* Calibração do Storm Water Management Model (SWMM) utilizando algoritmos evolucionários multiobjetivo. **Eng. Sanit. Ambient.**, Rio de Janeiro, v. 21, n.4, p.697-707, Dec. 2016. Available from <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-41522016000400697&lng=en&nrm=iso>. Access on 13 Mar. 2018. <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522016131862>.

FRANCHITO, S.H.; *et al.* Validation of TRMM precipitation radar monthly rainfall estimates over Brazil. **J. Geophys. Res. Atmos.**, v. 114, p.356–360, 2009.

GARCEZ, L. N.; ALVAREZ, G.A. **Hidrologia**. 2ª ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1988.

GARCIA, J. I. B. **Monitoramento hidrológico e modelagem da drenagem urbana da bacia hidrográfica do arroio Cancela**. Universidade Federal de Santa Maria. Centro de Tecnologia. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Santa Maria, 2005.

GARCIA, J.I.B.; PAIVA, E.M.C.D. Avaliação da Discretização em uma Bacia Hidrográfica Urbana, Através do modelo SWMM. **Anais: XXI Congresso Latinoamericano de Hidráulica**, São Pedro- SP, 2004.

GARCIA, J.I.B.; PAIVA, E.M.C.D. Monitoramento Hidrológico e Modelagem da Drenagem Urbana da Bacia do Arroio Cancela - RS. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 11, p. 99-108, 2006.

GERBEAU, J. F. PERTHAME, B. Derivation of viscous Saint- Venant system for laminar shallow water. **Discrete Contin. Dynam. Systems**, Series B, v 1. p.89-102, 2001.

GRACIOSA, M. C. P. **Modelo de seguro para riscos hidrológicos com base em simulação hidráulico-hidrológica como ferramenta de gestão de risco de inundações**. 2010. 191f. Tese (Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2010.

GORE, CH2M; ALBERTA. ENVIRONMENTAL SCIENCES DIVISION. MUNICIPAL PROGRAM DEVELOPMENT BRANCH. **Stormwater management guidelines for the Province of Alberta**. Municipal Program Development Branch, Environmental Sciences Division, Environmental Service, 1999.

GUSSO, A.; FONTANA, D. C. Ensaio comparativo sobre métodos de monitoramento da temperatura da superfície terrestre no estado do Rio Grande do Sul com uso dos satélites NOAA. **Anais: XI SBSR, Belo Horizonte-Brasil, INPE**, p. 1185-1192, 2003.

GUSSO, A.; FONTANA, D. C.; GONÇALVES, G. A. Mapeamento da temperatura da superfície terrestre com uso do sensor AVHRR/NOAA. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 2, p. 231-237, 2007.

HONG, Y.; HSU, K.; MORADKHANI, H.; SOROOSHIAN, S. Uncertainty quantification of satellite precipitation estimation and Monte Carlo assessment of the error propagation into hydrologic response. **Water Resources Research**, v. 42, W08421, doi:10.1029/2005WR004398, 2006.

HOU, A. Y.; G., *et al.* **Global Precipitation Measurement**. In: MICHAELIDES, S. (Org.). **Precipitation: Advances in Measurement, Estimation and Prediction**. Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, p. 131-169, 2008.

HSU, M.H.; CHEN, S.H.; CHANG, T.J. Inundation simulation for urban drainage basin with storm sewer system. **Journal of Hydrology**, v.234, p.21-37, 2000.

HUBER, W. C.; DICKINSON, R. E. **Storm water management Model, Version 4: User's manual**. U.S. Environmental Protection Agency. Athens, Georgia, 1992.

HUFFMAN, G. J. *et al.* Algorithm Theoretical Basis Document (ATBD) Version 5.2. **National Aeronautics and Space Administration**. 2018. Disponível em: https://pmm.nasa.gov/sites/default/files/document_files/IMERG_ATBD_V5.2_0.pdf

ICLEI BRASIL. Módulo 4: Manejo de Águas Pluviais – explorando opções. In. **Kit de Treinamento SWITCH: Gestão Integrada das Águas na cidade do futuro**. São Paulo, 2011. Disponível em: <http://www.switchtraining.eu/portugues>. ISBN 978-85-99093-14-6.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Perfil dos Municípios 2013. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/perfilmunic/2013/> Acesso em: 20 fev. 2015.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Relatório de Gestão 2015.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. Estações meteorológica do Instituto Nacional de Meteorologia (2015).

JACOBSON, C.R. Identification and quantification of the hydrological impacts of imperviousness in urban catchments: a review. **Journal of Environmental Management**, v.92, n.6, p.1438-1448, 2011.

JAH, A.K.; BLOCH, R.; LAMOND, J. **Cidades e inundações: um guia para a gestão integrada do risco de inundação urbana para o século XXI**. Washington D.C.: The World Bank, 2012.

JANG, S. Using SWMM as a tool for hydrologic impact assessment. **Desalination**, v.212, n.1-3, p.344-356, 2007.

JHA, A. K.; BLOCH, R.; LAMOND, J. **Cidades e Inundações: Um guia para a Gestão Integrada do Risco de Inundação Urbana para o Século XXI**. **THE WORLD BANK**. Washington, D.C., 2012.

JIMÉNEZ, K.; COLLISCHONN, W. Método de combinação de dados de precipitação estimados por satélite e medidos em pluviômetros para a modelagem hidrológica. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, [s.l.], v. 20, n. 1, p.202-17, 2015. Assoc. Bras. de Recursos Hidricos - ABRH.

JOHNSON, L.E. Hydrologic modelling using radar-rainfall imagery. In: TENTH ANIVERSARY CONFERENCE, 1986, Boulder, Colorado. **What we have learned since the Big Thompson Flood: Proceeding of the Tenth Anniversary Conference**. Boulder, 1986.

JOHNSON, M. S.; *et al.* Application of two hydrologic models with different runoff mechanisms to a hillslope dominated watershed in the northeastern US: a comparison of HSPF and SMR. **Journal of Hydrology**, v. 284, n. 1-4, 2003, pp. 57-76, ISSN 0022-1694, <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2003.07.005>.

JONKMAN, S.N. Global perspectives of loss of human life caused by floods. **Nat. Hazards**, v. 34, p.151-175, 2005.

KIDD, C.; LEVIZZANI, V. Status of satellite precipitation retrievals. **Hydrology Earth System Sciences**, v.15, p.1109–1116, 2011.

KAISER, I.M. **Avaliação de métodos de composição de campos de precipitação para uso em modelos hidrológicos distribuídos**. 2006. 400f. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.

KRAJEWSKI, W.F.; SMITH, J.A. Radar hydrology: rainfall estimation. **Advances in Water Resources**, v.25, n.8, p.1387-1394, 2002.

KRZYSZTOFOWICZ, R. The case for probabilistic forecasting in hydrology, **Journal of Hydrology**, v. 249, n. 1–4, 2001, p. 2-9, 2001. ISSN 0022-1694, [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(01\)00420-6](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(01)00420-6). (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022169401004206>)

LENHS- Laboratório de Eficiência Energética e Hidráulica em saneamento (Tradução). *Manual do usuário EPA SWMM 5.0*. UFPB: 2012.

LÓPEZ-CASTILLO, A.; SOUZA FILHO, J.C. Simulação do equilíbrio: o método de Monte Carlo. **Quim. Nova**, Vol. 30, No. 7, 1759-1762, 2007.

MAHUNGUANA, M. J.; BRAVO, J. M. Avaliação do efeito de critérios de projeto no dimensionamento de redes de macrodrenagem através da simulação hidrológico-hidráulica. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos. RBRH**, v. 20, n .2, p. 484 – 495. Porto Alegre abr./jun. 2015. Versão On-line ISSN 2318-0331

MARCELINO, E.V. **Desastres naturais e geotecnologias: conceitos básicos**. Caderno Didático nº1. Santa Maria: INPE/CRS, 2008.

MARSHALL, J.S.; PALMER, W.M. The distribution of raindrops with size. **Journal of Meteorology**, v.5, p.165-166, 1948.

MARUJO, R., *et al.* MOS - Model Output Statistics - Aplicação da metodologia para correcção das previsões de vento obtidas para Portugal Continental. **XXXI Jornadas da Associação**

Meteorológica Espanhola em Meteorologia e Energias Renováveis, At Sevilha, Espanha, 2010.

MELLER, A. **Simulação Hidrodinâmica Integrada de Sistema de Drenagem em Santa Maria-RS**. 2004. 180f. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2004.

MENDONÇA, A.M., BONATTI, J.P. O sistema de previsão de tempo global por ensemble do CPTEC. **XII Congresso Brasileiro de Meteorologia**. p. 11. 2002.

MMA – MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Vulnerabilidade ambiental: desastres naturais ou fenômenos induzidos?** Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2007.

MOHIT, M.A., SELLU G.M. Mitigation of Climate Change Effects through Non-structural Flood Disaster Management in Pekan Town, Malaysia. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, v. 85, p. 564 – 573, 2013. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877042813025123>

MOLION L.C.B; BERNARDO; S.O. Dinâmica das chuvas no Nordeste Brasileiro. **XI Congresso Brasileiro de Meteorologia**; 2000. p. 1–5.

MORADEI, N. d. S. **A grande enchente de São Luiz do Paraitinga - 2010**. 2016. Dissertação (Mestrado em Paisagem e Ambiente) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016. doi:10.11606/D.16.2017.tde-02032017-113404. Acesso em: 2018-10-17.

MORAIS, O. R. de. **Enchentes em Uberaba**. Monografia (Especialização). 2001. Faculdade de Agronomia e Zootecnia de Uberaba – FAZU, Uberaba, 2001.

MOURA, R. G., *et al.* Avaliação do modelo regional ETA utilizando as análises do CPTEC e NCEP. **Rev. bras. meteorol.** São Paulo, v. 25, n. 1, p. 46-53, Mar. 2010. Available from <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-7786201000100005&lng=en&nrm=iso>. Acesso em 25 Sept. 2018. <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-77862010000100005>.

MUÑOZ, V.A.; VALERIANO, M.M. Mapeamento de planícies inundáveis a partir de MDE e avaliação da exposição à inundação na bacia do rio Itajaí. In: XVII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2015, João Pessoa, PB. **Anais do XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. João Pessoa, INPE, 2015.

NASA National Aeronautics and Space Administration. **TRMM Tropical Rainfall Measuring Mission**. Disponível em: https://trmm.gsfc.nasa.gov/overview_dir/instrumentfacts.html. Acesso em 11 de setembro de 2017.

NASCIMENTO, M. G. do. **Análise dos impactos dos jatos de baixos níveis sobre a bacia do Prata**. 2008. 208f. Dissertação (Mestrado) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2008.

NERY, T.D. **Dinâmica das corridas de detritos no Litoral Norte de São Paulo**. 2016. 164 f. Tese (Doutorado). Departamento de Geografia, Universidade de São Paulo, USP, São Paulo, 2016.

NÓBREGA, R. S.; SOUZA, E. P.; GALVÍNCIO, J. D. Análise da estimativa de precipitação do TRMM em uma sub- bacia da Amazônia Ocidental. **Rev. Geografia**, v. 25, n. 1, p. 6-20, jan./abr. 2008. Disponível em: <<http://www.revista.ufpe.br/revistageografia/index.php/revista/article/viewFile/184/78>>. Acesso em: 26 de agosto de 2017.

OH, E.H.; DESHMUKH, A.; HASTAK, M. Disaster impact analysis based on inter-relationship of critical infrastructure and associated industries: A winter flood disaster event. **International Journal of Disaster Resilience in the Built Environment**, v. 1, n. 1, p. 25-49, 2010.

OMNR. 2002. **Technical Guide River & Stream Systems: Flooding Hazard Limit**. Water Resources Section, Ontario Ministry of Natural Resources, Peterborough, Ontario. 118p.

PAPPENBERGER, F., K. J. *et al.* Cascading model uncertainty from medium range weather forecasts (10 days) through a rainfall-runoff model to flood inundation predictions within the European Flood Forecasting System (EFFS). **Hydrol. Earth Syst. Sci.**, v.9, p.381–393, 2005.

PASSOW, Michael J. TRMM: Trazendo o sensoriamento remoto de precipitação para sua sala de aula. **Terrae Didatica**, v. 6, n. 1, p. 3-8, 2010.

PARIZZI, M.G. Desastres naturais e induzidos e o risco urbano. **Geonomos**, v.22, n.1, p.1-9, 2014.

PATRY, G. G., MARIÑO, M. A. Parameter identification of time-varying noisy difference equations for real-time urban runoff forecasting, **Journal of Hydrology**, v. 72, n. 1, pp. 25-55, 1984, ISSN 0022-1694, Disponível em [http://dx.doi.org/10.1016/0022-1694\(84\)90183-5](http://dx.doi.org/10.1016/0022-1694(84)90183-5). Acesso em: 08/08/2017.

PEREIRA, G.; *et al.* Avaliação dos dados de precipitação estimados pelo satélite TRMM para o Brasil. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 18, n. 3, p. 139-148, jul./set. 2013. Disponível em: <https://www.abrh.org.br/SGCv3/index.php?PUB=1&ID=109&SUMARIO=1612>>. Acesso em: 14 set. 2016.

PEREIRA FILHO, A.J.; CRAWFORD, K.C. Integrating WSR-88D estimates and Oklahoma Mesonet measurements of rainfall accumulations: a statistical approach. 27th CONFERENCE ON RADAR METEOROLOGY, 1995, Vail Colorado. **Proceeding of 27th Conference on Radar Meteorology**. Vale, p. 240-242, 1995.

PESSOA, M.L. **Hidrometeorologia com radar**. In TUCCI, C.E.M. (Org) Hidrologia: ciência e aplicação. 2 ed. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, p. 877-914. 1993.

POMPÊO, C. A., Drenagem Urbana Sustentável In: **Revista Brasileira dos Recursos Hídricos / ABRH** Porto Alegre- RS, v. 5, n.1, p.15-24. 2000.

PISSARRA, T.C.T.; POLITANO, W.; FERRAUDO, A. S. Avaliação de características morfométricas na relação solo-superfície da bacia hidrográfica do córrego rico, Jaboticabal (SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p.297-305, 2004.

PONTES, P.; *et al.* Tópicos iniciais sobre a hidrologia da bacia do Prata no contexto das mudanças climáticas utilizando os modelos MGB - IPH e ETA - CPTEC. **XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos- Segurança Hídrica e Desenvolvimento Sustentável: desafio do conhecimento e da gestão**- 22 a 27 de novembro de 2015, Brasília-DF.

PORTO, Rodrigo de Melo *et al.* Hidráulica básica. **São Carlos: EESC/USP**, v. 4, 2006.

PREFEITURA MUNICIPAL DE UBERABA – PMU. **Relatório de Avaliação Ambiental**. Uberaba: Prefeitura Municipal de Uberaba, 2009.

PREFEITURA MUNICIPAL DE UBERABA – PMU. **Projeto Água Viva**. Uberaba: Prefeitura Municipal de Uberaba, 2011.

QUEIROZ, A. P. **Monitoramento e previsão imediata de tempestades severas usando dados de radar**. 2008. 128 p. (INPE-14181-TDI/1093). Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Centro Regional de Educação em Ciência e Tecnologia Espaciais para a América Latina e Caribe (CRECTEALC) - Campus Brasil - INPE, São José dos Campos, 2008. Disponível em: Acesso em: 05 janeiro. 2017.

RAMOS, F. *et al.* Engenharia Hidrológica. Rio de Janeiro-RJ: ABRH - Associação Brasileira de Recursos Hídricos; **Editora da UFRJ**, 1989

REVILLA-ROMERO, B., *et al.* On the use of global flood forecasts and satellite-derived inundation maps for flood monitoring in data-sparse regions. **Remote Sens.**, v. 7, n. 15, p. 702-728, 2015. doi:<https://doi.org/10.3390/rs71115702>.

RIGHI, E. **Metodologia para zoneamento de risco a inundações graduais**. 2016. 196f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.

RIVOLTA, G.; *et al.* Artificial neural-network technique for precipitation nowcasting from satellite imagery. **Advances in Geosciences**, v. 7, p. 97-103, 2006.

ROCHA, N. **Planejamento urbano da bacia do Córrego Samambaia utilizando o SWMM – Storm Water Management Model**. Dissertação (Mestrado) 90 f. 2013. Universidade Federal de Goiás, Escola de Engenharia Civil, Goiânia – GO, 2013 .

RODRIGUES, J.P.S. **Avaliação da qualidade ambiental urbana na Bacia Hidrográfica no córrego das Lages em Uberaba (MG)** - período de 1994 a 2014. Dissertação (Mestrado). 126f. 2016. Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Goiás, Universidade Federal de Goiás, Catalão, 2016.

RODRIGUES, A.; FACHEL, J.M.G.; PASSUELLO, A.C. Estatística espacial e análise de cluster em dados de desastres naturais: mapeamento de inundações no Rio Grande do Sul entre 2003 e 2009. **Revista Iniciação Científica**, v.10, n.1, p.48-67, 2012.

ROSSMAN, Lewis A. **Storm water management model user's manual, version 5.1**. Cincinnati: National Risk Management Research Laboratory, Office of Research and Development, US Environmental Protection Agency, 2015.

ROZANTE, J. R., *et al.* Combining TRMM and surface observation precipitation: technique and validation over South America, **Weather Forecast**, v.25, p. 885–894, 2010.

ROZANTE, J. R. **Produto de precipitação MERGE**. 2017. Disponível em: http://ftp.Cptec.inpe.br/modelos/io/produtos/MERGE/read_me_MERGE.pdf Acesso: 29/08/2017.

SCOFIELD, R. A.; KULIGOWSKI, R. J. Status and outlook of operational satellite precipitation algorithms for extreme-precipitation events. **Wea. Forecasting**, v.18, p.1037-1051, 2003.

SHINMA, T. A. **Calibração multiobjetivo do SWMM aplicada à transformação chuva-vazão**. 2011. 136f. Dissertação (Mestrado) –Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo. São Carlos, 2011.

SHINMA, T. A. **Avaliação de incertezas na calibração automática do modelo SWMM**. 2015. 212f. Tese (Doutorado) –Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo. São Carlos, 2015.

SILVA, M. A. A; KAISER, I. M.; PEIXOTO, A. S. P. Estudo da Chuva Desencadeadora de Desastres Naturais na Região Administrativa de Bauru Através da Simulação de Monte Carlo. **Anais: XIX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica**. Salvador, Bahia, 28 de agosto a 01 de setembro de 2018.

SILVA, M. F.; *et al.* Projeto Água Viva I E II: Reestruturação Do Sistema De Saneamento Ambiental Da Cidade De Uberaba-MG. **Anais: X Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v. 10, n. 12, pp. 42-59, 2014.

SILVA, F. D. DOS S.; PEREIRA FILHO, A. J.; HALLAK, R. Classificação de sistemas meteorológicos e comparação da precipitação estimada pelo radar e medida pela rede telemétrica na bacia hidrográfica do Alto Tietê. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.24, n.3, 292-307, 2009. Disponível em <http://www.scielo.br/pdf/rbmet/v24n3/a04v24n3>. Acesso em 28/08/2016.

SILVEIRA, L. J. **O centro da cidade e o comércio: um estudo da importância das atividades terciárias na configuração espacial urbana de Uberaba- MG**. 2015. 165f. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, 2015.

SIQUEIRA, V. A. *et al.* Ensemble flood forecasting based on operational forecasts of the regional Eta EPS in the Taquari-Antas basin. **RBRH**, Porto Alegre, v.21, n.3, p.587-602, Sept. 2016. Available from <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2318-03312016000300587&lng=en&nrm=iso>.access on 11 Mar. 2018. <http://dx.doi.org/10.1590/2318-0331.011616004>.

SOARES, F. d. R. **Metodologia de previsão de descargas atmosféricas utilizando dados de radar, rede de sensores eletromagnéticos e modelagem atmosférica**. 2014. 142f. Dissertação (Mestrado) -Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE. São José dos Campos. 2014.

SOARES, A. S. D.; DA PAZ, A. R. PICCILLI, D. G. A. Avaliação das estimativas de chuva do satélite TRMM no estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.21, n.2, p. 288-299, 2016.

SOUSA, J. S. **Áreas de preservação permanente urbanas: Mapeamento, diagnósticos, índices de qualidade ambiental e influência no escoamento superficial- Estudo de caso: Bacia do Córrego das Lages**. 2008. 160f. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia. 2008.

SOUSA, J. S.; ALAMY FILHO, J. E.; COELHO, G. Influência da impermeabilização e das Áreas de Preservação Permanente no volume do escoamento superficial e vazão de pico, na bacia do Córrego das Lajes – Uberaba, MG. **Revista Scientia Agraria (SA)**, v. 16, n.3, p. 53-75, 2015.

SOUZA, R. M. de; CRISPIM, D. C.; FORMIGA, K. T. M. Estudo comparativo entre os modelos SWMM e HEC-HMS para simulação de escoamento superficial - Caso de estudo Bacia do Córrego Samambaia. **Revista Eletrônica de Engenharia Civil**. Goiânia – GO. v.5, n.2, p.1-11, 2012.

STABILE, R.A; COLÂNGELO, A. C. Estudo pluviométrico dos escorregamentos deflagrados no verão de 2009/2010 no Planalto do Paraitinga (SP). **Anais: XVII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada e I Congresso Nacional de Geografia Física**. Campinas 2017.

TAHA, M.M.N.; *et al.* Flash flood hazard zonation based on basin morphometry using remote sensing and GIS techniques: A case study of Wadi Qena basin, Eastern Desert, Egypt. **Remote Sensing Applications: Society and Environment**, v.8, p. 157–167, 2017.

TABOSA, C. M.; SARAIVA JÚNIOR, A. F; COSTA, R.P. Simulação de Monte Carlo aplicada à análise econômica de pedido. **Produção**, v. 21, n. 1, p. 149- 164, jan./mar. 2011.

TINGSANCHALI, T. Urban flood disaster management. **Procedia Engineering**, v. 32, p. 25-37, 2012, ISSN 1877-7058. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705812012647>)

TOHT, E.; BRATH, A.; MONTANARI, A. Comparison of short-term rainfall prediction models for real-time flood forecasting. **Journal of Hydrology**, 2000, Vol 239, pp.132-147.

TOMAZ, P. **Aproveitamento de água de chuva: para áreas urbanas e fins não potáveis**. 2. ed. São Paulo: Navegar. 180 p, 2005.

TOMINAGA, L.K.; SANTORO, J.; AMARAL, R. **Desastres naturais: conhecer para prevenir**. São Paulo: Instituto Geológico, 2009.

TORRES, J. L. R.; SILVA, T. R.; ARAÚJO, G.S.; FABIAN, A.J. Diagnóstico socioeconômico, ambiental e avaliações das características morfométricas da microbacia do córrego Alegria em Uberaba-MG. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, 19(2):89-102, dez.2007.

TRALLI, D. M.; *et al.* Satellite remote sensing of earthquake, volcano, flood, landslide and coastal inundation hazards. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 59, n.4, p.185-198, 2005. ISSN 0924-2716, <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2005.02.002>.
(<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924271605000043>)

TUCCI, C. E. M. Inundações urbanas. In: **Drenagem Urbana**. TUCCI, C. E. M; PORTO, R. La L & BARROS, M. T. Porto Alegre: ABRH/ Editora da Universidade/ UFRGS, p-15-36. 1995.

TUCCI, C. E. M. Águas urbanas. **Estudos Avançados**, v.22, n.63, p.1-16, 2008.

TUCCI, C.E.M. Gerenciamento de drenagem urbana. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.7, n.1, p.5-27, 2002.

TUCCI, C.E.M. Gestão de Águas Pluviais Urbanas. Ministério das Cidades. **Global Water Partnership- Wolrd Bank- Unesco** 2005.

TUCCI, C.E M.; BERTONI, J.C. (orgs) **Inundações Urbanas na América do Sul**. Ed. Brasileira de Recursos Hídricos, p. 471. 2003.

VAREJÃO SILVA, M. A. **Meteorologia e Climatologia**. Recife: Versão Digital, 2006. 463 p.

VARIKODEN, H.; PREETHI, B.; REVADEKAR, J. V. Diurnal and spatial variation of Indian summer monsoon rainfall using tropical rainfall measuring mission rain rate. **J. Hydrol.**, v. 475, p. 248-258, Dec. 2012. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022169412008748>. Acesso em: 11 jan. 2014.

VILLANUEVA, A. O. N. Simulação de redes de macrodrenagem urbana. In Métodos Numéricos em Recursos Hídricos VI, editado por Silva, R. C. V, 242-308. **Porto Alegre: ABRH**. ISBN: 85-88686-1.

WAGNER, P. D.; *et al.* Comparison and evaluation of spatial interpolation schemes for daily rainfall in data scarce regions. **J. Hydrol.**, v. 464-465, p. 388-400, Sept. 2012. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022169412006270>>. Acesso em: 13 set. 2016.

XING, W. *et al.* Layout effects and optimization of runoff storage and filtration facilities based on SWMM simulation in a demonstration area. **Water Science and Engineering**, v. 9, n. 2, p.115-124, 2016. ISSN 1674-2370, <http://dx.doi.org/10.1016/j.wse.2016.06.007>. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1674237016300199>>. Acesso em 21/10/2017

YAMASHITA, S.; WATANABE, R.; SHIMATANI, Y. Smart Adaptation to Flooding in Urban Areas, **Procedia Engineering**, v. 118, p.1096-1103, 2015. ISSN 1877-7058. Disponível em <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705815021049>). <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.08.449>. Acesso em 09/03/2018.

YEN, B.C. Hydraulic instabilities of storm sewer flows. In: Urban Storm Drainage: Proceeding of the International Conference held at the University of Southampton. **London: Plymouth**, p. 282-293. London, 1978.

YODMANI, S. Disaster risk management and vulnerability reduction: protecting the poor. Paper presented at the Asian and Pacific Forum. **Poverty**, p. 5–9, February 2001, Manila, Philippines.

ZAGHLOUL, N. A. Sensitivity analysis of the SWMM Runoff-Transport parameters and the effects of catchment discretization. **Adv. Water Resources**, 1983, v. 6, p. 214-223, 1983.

ZAHED FILHO, K.; *et al.* Inundações Urbanas. In: **Coleção Águas Urbanas**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental – PHA, 2012.

ZOPPOU, C. Review of urban storm water models. **Environmental Modelling & Software**. Elsevier, v.16, n3, p195-231, April 2001.

ANEXO I

Descrição dos canais de macrodrenagem

IDENTIFICAÇÃO	EXTENSÃO (m)	DECLIVIDADE (m/m)	SEÇÃO INTERNA (Larg x Alt)
A_LO1	145,10	0,0057	8,30 x 3,20
A_LO2	697,30	0,0063	8,30 x 3,20
A_LO3	125,54	0,0063	7,30 x 3,10
A_LO4	177,16	0,0065	6,00 x 3,10
A_LO5	80,00	0,0115	5,00 x 3,30
A_LO6	40,00	0,0097	5,00 x 3,30
A_LO7	236,40	0,0103	3,50 x 3,00
A_LO8	133,84	0,0022	3,50 x 3,00
A_LO9	180,50	0,0100	11,00 x 5,90
A_LO10	303,80	0,0100	3,50 x 3,00
A_LO11	315,70	0,0100	3,50 x 2,90
A_LO12	180,00	0,0100	5,00 x 1,50
A_LO13	166,00	0,0100	2,90 x 2,30
A_LO14	11,80	0,0100	11,80 x 3,50
A_LO15	282,20	0,0100	2,90 x 2,30
A_LO16	1120,00	0,0100	2,40 x 2,30
N_LO1	145,10	0,0057	5,00 X 3,00
N_LO2	697,30	0,0063	5,00 X 3,00
N_LO3	125,54	0,0063	5,00 X 2,70
N_LO4	177,16	0,0065	3,50 x 2,50
N_LO5	160,00	0,0115	3,50 x 2,50
N_LO6	129,76	0,0097	2,50 x 2,50
N_LO7	150,24	0,0103	2,50 x 2,50
N_LO8	23,76	0,0022	2,50 x 2,50
A_GF1	80,00	0,0280	2,30 x 2,30
A_GF2	350,41	0,0280	2,30 x 2,30
A_GF3	125,17	0,0116	2,00 x 2,60
A_GF4	364,42	0,0136	2,00 x 2,60
A_GF5	300,00	0,0146	2,20 x 2,10
A_GF6	160,00	0,0099	2,20 x 2,10
A_GF7	124,45	0,0100	2,00 x 2,60
A_GF8	17,30	0,0100	5,00 x 3,30
A_GF9	103,55	0,0100	2,00 x 2,60
A_GF10	11,70	0,0100	5,00 x 3,80
A_GF11	247,20	0,0100	2,30 x 2,25
A_GF12	115,80	0,0100	2,18 x 2,30
A_GF13	68,20	0,0100	2,20 x 2,80
N_GF1	80,00	0,0280	3,50 x 2,50
N_GF2	120,00	0,0280	3,50 x 2,50
N_GF3	120,00	0,0116	3,50 x 2,50
N_GF4	280,00	0,0136	3,50 x 2,50

N_GF5	300,00	0,0146	3,50 x 2,50
N_GF6	480,00	0,0099	3,50 x 2,50
A_SD1	295,48	0,0052	5,40 x 2,80
A_SD2	30,00	0,005	3,40 x 2,25
A_SD3	238,72	0,0069	3,40 x 2,20
A_SD4	107,92	0,0069	3,40 x 2,20
A_SD5	47,88	0,0067	3,40 x 2,20
A_SD6	180,00	0,0081	3,40 x 2,20
A_SD7	340,00	0,0139	3,00 x 2,20
N_SD1	295,48	0,0052	3,00 x 2,30
N_SD2	30,00	0,005	9,45 x 2,90
N_SD3	238,72	0,0069	4,00 x 3,20
N_SD4	107,92	0,0069	4,00 x 2,50
N_SD5	30,00	0,0067	7,95 x 2,50
N_SD6	197,88	0,0081	4,00 x 2,50
N_SD7	340,00	0,0139	4,00 x 2,50
A_SB1	100,00	0,0155	3,00 x 2,20
A_SB2	100,00	0,0125	2,20 x 2,00
A_SB3	500,00	0,0030	2,20 x 2,00
A_SB4	340,00	0,0155	2,00 x 2,00
N_SB1	100,00	0,0155	4,00 x 2,50
N_SB2	240,00	0,0125	3,71 x 2,71
N_SB3	360,00	0,0030	3,71 x 2,71
N_SB4	420,00	0,0155	3,71 x 2,71
A_PS1	299,00	0,0150	1,80 x 1,80
A_PS2	64,40	0,0150	2,00 x 2,00
A_PS3	638,60	0,0149	2,00 x 2,00
N_PS1	228,93	0,0150	2,00 x 2,00
N_PS2	120,00	0,0193	2,00 x 2,00
N_PS3	184,32	0,0109	2,00 x 2,00
N_PS4	15,68	0,0319	2,00 x 2,00
N_PS5	80,00	0,0149	2,00 x 2,00
A_FR1	325,50	0,0100	2,55 x 2,40
A_FR2	147,60	0,0100	3,15 x 2,40
A_FR3	52,00	0,0100	3,20 x 2,35
A_FR4	269,10	0,0100	3,70 x 2,50
A_OF1	805,20	0,0100	2,00 x 2,00
A_OF2	120,70	0,0100	2,55 x 2,40
A_NF1	620,78	0,0100	1,60 x 2,00
Total	17864,21		

* A_LO=Antiga galeria da Av. Leopoldina de Oliveira; N_LO= Nova galeria da Av. Leopoldina de Oliveira; A_GF= Antiga galeria da Av. Guilherme Ferreira; N_GF= Nova galeria da Av. Guilherme Ferreira; A_SD= Antiga galeria da Av. Santos Dumont; N_SD= Nova galeria da Av. Santos Dumont; A_SB= Antiga galeria da Av. São Benedito; N_SB= Nova galeria da Av. São Benedito; A_PS= Antiga galeria da Rua Pedro Salomão; N_PS= Nova

galeria da Rua Pedro Salomão; A_FR= Antiga galeria da Av. Fidelis Reis; A_OF= Antiga galeria da Av. Odilon Fernandes; A_NF= Antiga galeria da Av. Nelson Freire.
Fonte: Codau (2015)

APÊNDICE A

Dia 21/11/2017.

		Araxá		Barretos		Campina Verde		Conceição das Alagoas		Franca		Ituiutaba		Itumbiara	
		Grade	INMET	Grade	INMET	Grade	INMET	Grade	INMET	Grade	INMET	Grade	INMET	Grade	INMET
21-nov-17	0h	7.20	7.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	NULL
	1h	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	NULL
	2h	6.00	6.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	NULL
	3h	0.59	0.60	0.20	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	NULL
	4h	0.00	0.00	10.41	10.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	NULL
	5h	2.00	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	NULL
	6h	0.20	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.22	0.20	0.00	NULL
	7h	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	0.20	0.00	0.00	0.00	NULL
	8h	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.60	0.60	0.00	0.00	0.00	NULL
	9h	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	NULL
	10h	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	NULL
	11h	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.40	0.40	0.00	0.00	0.00	0.00
	12h	0.20	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	0.20	1.40	1.40	0.00	0.00	0.00	0.00
	13h	0.00	0.00	0.59	0.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	14h	0.00	0.00	0.80	0.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	15h	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	16h	0.00	0.00	0.00	0.00	0.59	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.48	0.00
	17h	0.00	0.00	6.59	6.60	0.80	0.00	4.20	4.20	4.41	4.40	0.00	0.00	0.00	0.00
	18h	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.73	4.20	0.00	0.00
	19h	2.20	2.20	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.22	0.20	0.00	NULL
	20h	0.00	0.00	1.20	1.20	0.00	0.00	6.00	6.00	2.00	2.00	0.00	0.00	4.75	NULL
	21h	5.31	0.00	2.41	2.40	0.00	0.00	1.20	1.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	NULL
	22h	5.61	11.80	4.20	4.20	0.00	0.00	0.59	0.60	3.00	3.00	0.00	0.00	2.25	NULL
	23h	3.69	1.20	0.00	0.00	0.00	0.00	4.31	0.20	0.41	0.40	0.22	0.20	3.63	NULL

		Ituverava		Passos		Patrocínio		Sacramento		São Sebastião do Paraíso		Uberaba		Uberlândia	
		Grade	INMET	Grade	INMET	Grade	INMET	Grade	INMET	Grade	INMET	Grade	INMET	Grade	INMET
21-nov-17	0h	0.00	0.00	0.00	0.00	13.02	12.60	0.00	0.00	0.00	NULL	0.00	0.00	0.00	0.00
	1h	0.00	0.00	0.17	0.20	6.41	6.20	0.20	0.00	0.00	NULL	0.00	NULL	0.20	0.20
	2h	0.00	0.00	1.67	2.00	1.14	1.20	0.00	0.00	0.00	NULL	0.00	NULL	0.00	0.00
	3h	0.00	0.20	0.33	0.40	0.30	0.40	0.00	0.00	0.00	NULL	0.00	0.20	0.00	0.00
	4h	0.00	10.40	0.00	0.00	0.17	0.20	0.00	0.00	1.70	NULL	0.00	0.00	0.00	0.00
	5h	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.40	7.75	NULL	0.00	0.00	0.00	0.00
	6h	0.00	0.00	0.00	0.00	0.61	0.60	0.00	0.00	24.52	NULL	0.00	0.00	0.00	0.00
	7h	0.00	0.00	0.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.81	NULL	0.00	0.00	0.00	0.00
	8h	0.00	0.00	1.16	1.20	0.20	0.20	0.20	0.00	0.00	NULL	0.00	0.00	0.20	0.20
	9h	0.00	0.00	1.66	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	NULL	0.00	0.00	0.00	0.00
	10h	0.00	0.00	0.34	0.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	NULL	0.00	0.00	0.00	0.00
	11h	0.00	0.00	0.34	0.20	2.30	2.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	12h	0.00	0.00	1.34	1.40	8.15	7.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	13h	0.00	0.60	0.00	0.00	5.25	5.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	14h	0.00	0.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	15h	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.20	0.00	0.00
	16h	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.41	0.00	0.00	0.00	0.11	2.60	1.41	1.40
	17h	0.00	6.60	0.33	0.40	14.61	13.80	0.00	0.00	0.00	0.20	0.33	1.80	0.00	0.00
	18h	0.00	0.00	0.00	0.00	0.47	0.40	16.39	0.20	0.70	0.20	0.00	6.00	16.41	16.40
	19h	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	0.00	2.47	0.00	10.67	0.00	0.20	0.20
	20h	3.58	1.20	0.00	0.00	19.02	18.00	0.00	0.00	2.63	0.60	7.59	9.60	0.00	0.00
	21h	0.00	2.40	0.17	0.20	5.69	5.60	0.00	6.20	0.00	NULL	2.19	0.00	0.00	0.00
	22h	0.88	4.20	1.83	2.00	0.06	0.20	0.00	1.20	0.20	NULL	1.16	0.00	0.00	0.00
	23h	0.00	0.00	7.50	5.80	0.16	0.20	6.20	0.00	0.30	NULL	2.09	0.60	6.20	6.20

Dia 22/11/2017.

		Araxá		Barretos		Campina Verde		Conceição das		Franca		Ituiutaba		Itumbiara	
		Grade	INMET	Grade	INMET	Grade	INMET	Grade	INMET	Grade	INMET	Grade	INMET	Grade	INMET
22-nov-17	0h	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.41	0.40	0.80	0.80	0.20	0.20	0.00	NULL
	1h	0.00	0.00	0.20	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.59	0.60	0.20	0.20	0.00	NULL
	2h	12.41	12.40	2.20	2.20	0.41	0.20	1.59	1.60	0.00	0.00	1.00	1.00	0.00	NULL
	3h	3.80	3.80	5.00	5.00	0.00	0.00	1.59	1.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	NULL
	4h	0.80	0.80	3.80	3.80	0.59	0.20	6.00	6.00	3.00	3.00	0.00	0.00	4.75	NULL
	5h	8.00	8.00	2.41	2.40	1.59	0.40	4.00	4.00	3.80	3.80	0.20	0.20	0.05	NULL
	6h	5.41	5.40	2.41	2.40	3.41	0.40	8.20	8.20	8.00	8.00	0.00	0.00	3.58	NULL
	7h	0.41	0.40	5.41	5.40	0.41	0.80	0.59	0.60	2.59	2.60	0.00	0.00	0.45	NULL
	8h	5.80	5.80	2.00	2.00	0.00	0.60	0.00	0.00	2.41	2.40	0.00	0.00	0.00	NULL
	9h	4.00	4.00	0.41	0.40	0.59	0.80	2.41	2.40	1.41	1.40	0.20	0.20	0.00	NULL
	10h	6.60	6.60	0.80	0.80	11.20	2.40	2.60	2.60	4.80	4.80	10.00	10.00	0.00	NULL
	11h	6.59	6.60	0.41	0.40	4.41	1.20	11.00	11.00	0.80	0.80	14.92	16.40	0.00	NULL
	12h	1.80	1.80	0.00	0.00	0.41	0.80	0.41	0.40	0.41	0.40	24.80	24.80	0.05	NULL
	13h	0.80	0.80	0.00	0.00	0.41	2.00	3.20	3.20	1.00	1.00	27.59	27.60	0.00	NULL
	14h	0.59	0.60	0.00	0.00	0.80	1.00	1.20	1.20	0.00	0.00	14.77	13.20	0.00	NULL
	15h	5.80	5.80	0.00	0.00	0.41	0.40	0.59	0.60	0.00	0.00	3.80	3.80	0.00	NULL
	16h	10.20	10.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.00	2.00	0.00	NULL
	17h	4.00	4.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.41	0.40	0.00	0.00	1.13	1.00	4.39	NULL
	18h	0.59	0.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.20	1.20	4.45	NULL
	19h	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	NULL
	20h	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	NULL
	21h	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.56	NULL
	22h	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	NULL
	23h	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	NULL

		Ituverava		Passos		Patrocínio		Sacramento		São Sebastião do		Uberaba		Uberlândia	
		Grade	INMET	Grade	INMET	Grade	INMET	Grade	INMET	Grade	INMET	Grade	INMET	Grade	INMET
22-nov-17	0h	0.27	0.00	1.33	0.80	0.22	0.20	2.41	1.40	3.00	NULL	0.16	0.00	2.41	2.40
	1h	0.00	0.20	0.50	0.40	0.83	1.00	0.00	4.60	0.61	NULL	0.00	0.00	0.00	0.00
	2h	0.00	2.20	4.00	4.60	14.89	15.00	0.00	0.00	0.09	NULL	0.80	1.40	0.00	0.00
	3h	0.00	5.00	2.33	2.20	2.59	2.80	0.41	6.20	0.75	NULL	1.02	2.60	0.41	0.40
	4h	3.41	3.80	0.17	0.00	3.64	3.80	0.00	1.80	1.52	NULL	0.78	0.40	0.00	0.00
	5h	0.22	2.40	2.00	2.40	7.98	7.80	0.20	1.00	0.78	NULL	0.80	6.40	0.20	0.20
	6h	1.78	2.40	3.17	3.80	0.59	0.60	12.39	3.60	4.56	NULL	13.52	7.60	12.41	12.40
	7h	0.00	5.40	9.50	11.40	1.02	1.00	0.41	5.60	1.33	NULL	16.47	16.40	0.41	0.40
	8h	0.00	2.00	5.00	6.00	0.00	0.00	18.19	16.60	1.16	NULL	3.92	3.60	18.20	18.20
	9h	0.00	0.40	2.67	3.20	1.36	1.40	16.39	3.80	1.34	NULL	0.34	0.00	16.41	16.40
	10h	0.00	0.80	0.40	0.40	1.47	1.60	2.20	2.60	0.16	NULL	0.00	0.40	2.20	2.20
	11h	0.00	0.40	1.00	1.20	2.02	2.20	1.00	0.80	0.06	0.20	1.69	2.40	1.00	1.00
	12h	0.22	0.00	0.50	0.60	0.95	1.00	0.20	3.80	0.00	0.40	8.23	10.20	0.20	0.20
	13h	0.00	0.00	0.33	0.40	0.00	0.00	2.20	1.40	0.00	0.00	18.94	15.20	2.20	2.20
	14h	0.00	0.00	0.83	0.80	0.00	0.00	1.80	2.80	0.00	0.00	10.19	7.80	1.80	1.80
	15h	0.00	0.00	0.17	0.00	0.00	0.00	0.20	2.60	0.00	0.00	5.92	7.00	0.20	0.20
	16h	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	1.80	0.00	0.80	1.67	0.00	0.20	0.20
	17h	3.30	0.00	0.17	0.20	0.00	0.00	0.80	0.20	0.00	0.00	0.89	0.00	0.80	0.80
	18h	3.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.41	0.00	0.00	0.00	0.31	0.20	0.41	0.40
	19h	0.27	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	20h	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	0.20
	21h	0.64	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	NULL	0.00	0.00	0.00	0.00
	22h	0.27	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	NULL	0.00	0.00	0.00	0.00
	23h	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	NULL	0.00	0.00	0.00	0.00

Dia 23/11/2017.

		Araxá		Barretos		Campina Verde		Conceição das		Franca		Ituiutaba		Itumbiara	
		Grade	INMET	Grade	INMET	Grade	INMET	Grade	INMET	Grade	INMET	Grade	INMET	Grade	INMET
23-nov-17	0h	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	NULL
	1h	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	NULL
	2h	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	NULL
	3h	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	NULL
	4h	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	NULL
	5h	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	0.20	0.00	0.00	0.00	NULL
	6h	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	NULL
	7h	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	NULL
	8h	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	NULL
	9h	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	NULL
	10h	2.59	2.60	0.00	0.00	0.00	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	NULL
	11h	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	NULL
	12h	0.20	0.20	0.00	0.00	0.00	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	13h	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	NULL
	14h	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.11	0.20
	15h	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.08	0.00
	16h	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	17h	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	18h	0.20	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	19h	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	20h	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	21h	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	NULL
	22h	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	NULL
	23h	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	NULL

		Ituverava		Passos		Patrocínio		Sacramento		São Sebastião do		Uberaba		Uberlândia	
		Grade	INMET	Grade	INMET	Grade	INMET	Grade	INMET	Grade	INMET	Grade	INMET	Grade	INMET
23-nov-17	0h	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	NULL	0.00	0.00	0.00	0.00
	1h	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	NULL	0.00	0.00	0.00	0.00
	2h	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	NULL	0.00	0.00	0.00	0.00
	3h	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	NULL	0.00	0.00	0.00	0.00
	4h	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	NULL	0.00	0.00	0.00	0.00
	5h	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	NULL	0.00	0.00	0.00	0.00
	6h	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	NULL	0.00	0.00	0.00	0.00
	7h	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	NULL	0.00	0.00	0.00	0.00
	8h	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	NULL	0.00	0.00	0.00	0.00
	9h	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	0.60	0.00	NULL	0.00	0.00	0.20	0.20
	10h	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	11h	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	12h	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	13h	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	14h	0.00	0.00	0.00	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	15h	0.00	0.00	0.00	0.00	0.22	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	16h	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	17h	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	18h	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	19h	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	20h	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	21h	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	22h	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	NULL	0.00	0.00	0.00	0.00
	23h	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	NULL	0.00	0.00	0.00	0.00

Dia 24/11/2017.

		Araxá		Barretos		Campina Verde		Conceição das		Franca		Ituiutaba		Itumbiara	
		Grade	INMET	Grade	INMET	Grade	INMET	Grade	INMET	Grade	INMET	Grade	INMET	Grade	INMET
24-nov-17	0h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	NULL
	1h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	NULL
	2h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	NULL
	3h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	NULL
	4h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	NULL
	5h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	NULL
	6h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	NULL
	7h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	NULL
	8h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	NULL
	9h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	NULL
	10h	0.2	0.2	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	NULL
	11h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0
	12h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0
	13h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0
	14h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0
	15h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0.0	0.0	0	0.6	1
	16h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0.0	0.0	0	1.5	0.2
	17h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0.0	0.0	0	0.1	0.2
	18h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0
	19h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0
	20h	2.4	2.4	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0
	21h	7.4	7.4	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	NULL
	22h	6.2	6.2	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	NULL
	23h	4.8	4.8	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	NULL

		Ituverava		Passos		Patrocínio		Sacramento		São Sebastião do		Uberaba		Uberlândia	
		Grade	INMET	Grade	INMET	Grade	INMET	Grade	INMET	Grade	INMET	Grade	INMET	Grade	INMET
24-nov-17	0h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	NULL	0.0	0	0.0	0
	1h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	NULL	0.0	0	0.0	0
	2h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	NULL	0.0	0	0.0	0
	3h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	NULL	0.0	0	0.0	0
	4h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	NULL	0.0	0	0.0	0
	5h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	NULL	0.0	0	0.0	0
	6h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	NULL	0.0	0	0.0	0
	7h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	NULL	0.0	0	0.0	0
	8h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	NULL	0.0	0	0.0	0
	9h	0.0	0	0.0	0	0.2	0.2	0.0	0	0.0	NULL	0.0	0	0.0	0
	10h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	NULL	0.0	0	0.0	0
	11h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0
	12h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0
	13h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0
	14h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0
	15h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0
	16h	14.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0
	17h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0
	18h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0
	19h	0.3	0	0.0	0	0.0	0	3.8	0	0.0	0	0.0	0	3.8	3.8
	20h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	6.4	0	0.0	0	0.0	0	6.4	6.4
	21h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.8	0	0.0	NULL	0.0	0	0.8	0.8
	22h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	NULL	0.0	0	0.0	0
	23h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	NULL	0.0	0	0.0	0

Dia 25/11/2017.

		Araxá		Barretos		Campina Verde		Conceição das		Franca		Ituiutaba		Itumbiara	
		Grade	INMET	Grade	INMET	Grade	INMET	Grade	INMET	Grade	INMET	Grade	INMET	Grade	INMET
25-nov-17	0h	1.0	1	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	NULL
	1h	0.0	0	0.0	0	0.0	7.8	0.0	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	NULL
	2h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	NULL
	3h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	NULL
	4h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	NULL
	5h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	NULL
	6h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	NULL
	7h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	NULL
	8h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	NULL
	9h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	NULL
	10h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	NULL
	11h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0
	12h	0.0	0	0.0	0	0.0	0.2	0.0	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0
	13h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0
	14h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0
	15h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0
	16h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0
	17h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0
	18h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0.0	0.2	0.2	0.0	0
	19h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0.0	0.2	0.2	0.0	0
	20h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0
	21h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0
	22h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.1	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0
	23h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.3	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0

		Ituverava		Passos		Patrocínio		Sacramento		São Sebastião do		Uberaba		Uberlândia	
		Grade	INMET	Grade	INMET	Grade	INMET	Grade	INMET	Grade	INMET	Grade	INMET	Grade	INMET
25-nov-17	0h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	NULL	0.0	0	0.0	0
	1h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	NULL	0.0	0	0.0	0
	2h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	NULL	0.0	0	0.0	0
	3h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	NULL	0.0	0	0.0	0
	4h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	NULL	0.0	0	0.0	0
	5h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	NULL	0.0	0	0.0	0
	6h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	NULL	0.0	0	0.0	0
	7h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	NULL	0.0	0	0.0	0
	8h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	NULL	0.0	0	0.0	0
	9h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	NULL	0.0	0	0.0	0
	10h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	NULL	0.0	0	0.0	0
	11h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0
	12h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0
	13h	0.0	0	0.0	0	0.2	0.2	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0
	14h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0
	15h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0
	16h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0
	17h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0
	18h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	NULL	0.0	0	0.0	0
	19h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	20	0.0	0	0.0	0
	20h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	11	0.0	0	0.0	0
	21h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0
	22h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	NULL	0.0	0	0.0	0
	23h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.2	NULL	0.0	0	0.0	0

Dia 26/11/2017.

		Araxá		Barretos		Campina Verde		Conceição das		Franca		Ituiutaba		Itumbiara	
		Grade	INMET	Grade	INMET	Grade	INMET	Grade	INMET	Grade	INMET	Grade	INMET	Grade	INMET
26-nov-17	0h	0.0	0	0.0	0	1.1	0	0.0	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0
	1h	0.0	0	0.0	0	4.7	0	0.0	0	0.0	0.0	0.3	0	0.0	0
	2h	0.0	0	0.0	0	1.0	0	1.2	0	0.4	0.4	0.0	0	0.0	0
	3h	0.0	0	7.6	7.6	3.6	0	3.9	0	0.0	0.0	4.1	5	0.0	0
	4h	0.0	0	5.4	5.4	7.6	0	7.0	11.6	2.0	2.00	7.5	6.8	0.0	0
	5h	0.0	0	0.2	0.2	14.0	0	2.9	0.4	9.0	9.0	1.6	1.4	1.6	0.8
	6h	0.0	0	0.0	0	0.8	0	0.0	0	5.6	5.6	1.1	1	0.1	0.2
	7h	1.8	1.8	0.2	0.2	0.2	0	0.0	0	4.6	4.6	0.2	0.2	0.0	0
	8h	5.4	5.4	0.0	0	0.0	0	0.0	0	2.4	2.4	0.0	0	0.0	0
	9h	6.4	6.4	0.0	0	1.6	0	0.0	0	1.6	1.6	0.0	0	0.0	0
	10h	7.0	7	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.4	0.4	0.0	0	0.0	0
	11h	7.2	7.2	1.2	1.2	0.8	0	0.0	0	0.0	0.0	0.0	0	1.4	1.6
	12h	6.8	6.8	0.0	0	13.2	0	0.4	0.4	0.0	0.0	11.7	10.8	0.0	0
	13h	6.6	6.6	0.0	0	2.2	0	0.0	0	0.0	0.0	3.9	3.6	0.1	0
	14h	5.4	5.4	0.0	0	0.2	0	4.6	0	0.2	0.2	3.8	3.4	0.0	0
	15h	2.8	2.8	0.0	0	2.6	0	0.0	0	0.0	0.0	0.9	0.8	1.2	1
	16h	0.6	0.6	0.0	0	7.4	0	0.0	0	0.0	0.0	0.2	0.2	5.3	6.8
	17h	1.8	1.8	0.0	0	0.8	0	0.0	0	0.2	0.2	0.0	0	6.1	4.4
	18h	0.2	0.2	0.0	0	0.8	0	0.0	0	0.0	0.0	0.0	0	0.7	0.6
	19h	0.2	0.2	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0.0	0.0	0	3.0	5.2
	20h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0.0	0.0	0	6.5	5
	21h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0.0	0.0	0	0.3	0.2
	22h	0.0	0	0.0	0	0.4	0	0.0	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0
	23h	0.2	0.2	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0

		Ituverava		Passos		Patrocínio		Sacramento		São Sebastião do		Uberaba		Uberlândia	
		Grade	INMET	Grade	INMET	Grade	INMET	Grade	INMET	Grade	INMET	Grade	INMET	Grade	INMET
26-nov-17	0h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	3.3	NULL	0.0	NULL	0.0	0
	1h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	3.9	NULL	0.1	0	0.0	0
	2h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	3.5	NULL	0.1	0	0.0	0
	3h	0.0	7.6	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.8	NULL	1.8	0	0.0	0
	4h	0.0	5.4	0.0	0	0.0	0	0.0	0	5.3	NULL	5.4	0	0.0	0
	5h	2.8	0.2	1.5	1.8	0.0	0	0.0	0	2.4	NULL	11.9	82.4	0.0	0
	6h	0.0	0	3.0	3.6	0.3	0.4	0.2	21.2	2.0	NULL	6.2	40	0.2	0.2
	7h	0.0	0.2	10.0	12	0.1	0.2	1.2	15.6	0.4	NULL	6.0	13	1.2	1.2
	8h	0.0	0	4.8	5.8	0.3	0.4	3.6	7.2	0.0	NULL	14.1	3.8	3.6	3.6
	9h	0.0	0	1.3	1.6	5.9	5.8	0.4	6.2	0.0	NULL	5.7	0.6	0.4	0.4
	10h	0.0	0	0.7	0.8	3.1	3	3.6	0.4	0.0	NULL	1.7	0	3.6	3.6
	11h	1.7	1.2	0.2	0.2	0.2	0.2	1.0	0	0.0	0	0.0	0	1.0	1
	12h	0.0	0	0.0	0	0.3	0.2	0.2	1	0.0	0	0.0	3.2	0.2	0.2
	13h	0.0	0	0.0	0	0.9	1	0.0	1.4	0.0	0	0.5	3	0.0	0
	14h	0.0	0	0.0	0	0.2	0.2	0.0	0.8	0.0	0.2	0.0	1.8	0.0	0
	15h	2.6	0	0.0	0	0.0	0	1.4	1.2	0.0	0	0.5	5.4	1.4	1.4
	16h	4.6	0	0.3	0.2	0.3	0.4	6.0	4	0.0	0	1.1	2.8	6.0	6
	17h	6.6	0	0.0	0	0.1	0.2	2.4	2	0.1	0	0.3	0	2.4	2.4
	18h	0.9	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0.2	0.7	0	0.0	0	0.0	0
	19h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0
	20h	0.0	0	0.0	0	0.4	0.4	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0
	21h	0.7	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0
	22h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.1	NULL	0.0	0	0.0	0
	23h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	NULL	0.0	0	0.0	0

Dia 27/11/2017.

		Araxá		Barretos		Campina Verde		Conceição das		Franca		Ituiutaba		Itumbiara	
		Grade	INMET	Grade	INMET	Grade	INMET	Grade	INMET	Grade	INMET	Grade	INMET	Grade	INMET
27-nov-17	0h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0
	1h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0
	2h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0
	3h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0
	4h	0.2	0.2	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0
	5h	0.0	0	0.4	0.4	0.0	0	0.0	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0
	6h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0
	7h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0
	8h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0
	9h	0.0	0	0.2	0.2	0.0	0	0.0	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0
	10h	0.0	0	0.2	0.2	0.0	0	0.0	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0
	11h	0.0	0	0.4	0.4	0.0	0	0.0	0	3.8	3.8	0.0	0	0.0	0
	12h	0.0	0	1.4	1.4	0.4	0	0.0	0	3.0	3.0	0.0	0	0.0	0
	13h	0.0	0	2.0	2	0.0	0	0.0	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0
	14h	0.0	0	0.2	0.2	0.0	0	0.0	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0
	15h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0.0	0.0	0	0.1	0.2
	16h	0.8	0.8	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.2	0.2	0.0	0	0.0	0
	17h	0.0	0	0.0	0	0.2	0.2	0.0	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0
	18h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0
	19h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0
	20h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0
	21h	0.0	0	0.2	0.2	0.0	0	0.0	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0
	22h	0.0	0	13.8	13.8	12.0	12	0.0	0	0.0	0.0	1.0	0	0.0	0
	23h	2.5	4	6.4	3.8	22.8	7.2	8.6	1.4	0.1	0.0	2.9	0	0.0	0

		Ituverava		Passos		Patrocínio		Sacramento		São Sebastião do		Uberaba		Uberlândia	
		Grade	INMET	Grade	INMET	Grade	INMET	Grade	INMET	Grade	INMET	Grade	INMET	Grade	INMET
27-nov-17	0h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	NULL	0.1	0	0.0	0
	1h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.4	0	0.0	NULL	0.0	0	0.4	0.4
	2h	0.0	0	0.0	0	0.2	0.2	0.0	0	0.0	NULL	0.0	0	0.0	0
	3h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	NULL	0.0	0	0.0	0
	4h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	NULL	0.0	0	0.0	0
	5h	0.0	0.4	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	NULL	0.0	0	0.0	0
	6h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	NULL	0.0	0	0.0	0
	7h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	NULL	0.0	0	0.0	0
	8h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	NULL	0.0	0	0.0	0
	9h	0.0	0.2	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	NULL	0.0	0	0.0	0
	10h	0.0	0.2	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	NULL	0.0	0	0.0	0
	11h	0.0	0.4	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0
	12h	0.0	1.4	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.3	0	0.0	0.2	0.0	0
	13h	0.0	2	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.8	0	0.0	0	0.0	0
	14h	0.0	0.2	0.0	0	0.0	0	0.0	0.4	0.8	0	0.2	0	0.0	0
	15h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0
	16h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.1	0	0.0	NULL	0.0	0
	17h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	NULL	0.0	NULL	0.0	0
	18h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	NULL	0.0	0	0.0	0
	19h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	NULL	0.0	0	0.0	0
	20h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.1	NULL	0.0	0	0.0	0
	21h	0.0	0.2	1.0	0	0.0	0	0.0	0	0.8	NULL	0.2	0	0.0	0
	22h	0.0	13.8	0.0	0	0.7	0.8	0.0	0	1.5	NULL	0.8	0	0.0	0
	23h	0.0	3.8	0.0	0	9.2	1.6	0.0	0	0.7	NULL	0.9	14.4	0.0	0

Dia 28/11/2017.

		Araxá		Barretos		Campina Verde		Conceição das		Franca		Ituiutaba		Itumbiara	
		Grade	INMET	Grade	INMET	Grade	INMET	Grade	INMET	Grade	INMET	Grade	INMET	Grade	INMET
28-nov-17	0h	3.6	3.6	0.8	0.8	4.0	0.6	2.6	2.6	0.0	0.00	1.4	1.2	0.0	0
	1h	2.8	2.8	0.0	0	0.6	0.6	5.8	5.8	0.0	0.00	0.9	0.8	0.0	0
	2h	2.0	2	0.0	0	0.0	2	1.4	1.4	0.0	0.00	0.2	0.2	12.9	9.6
	3h	1.6	1.6	0.0	0	0.0	0.8	0.0	0	0.0	0.00	0.0	0	2.9	2.8
	4h	1.2	1.2	0.0	0	0.0	1.2	0.0	0	0.0	0.00	0.0	0	2.0	1.4
	5h	1.0	1	0.0	0	0.0	2.8	0.0	0	0.0	0.00	0.0	0	0.1	0
	6h	0.8	0.8	0.0	0	0.0	2.8	0.0	0	0.0	0.00	0.0	0	0.0	0
	7h	0.8	0.8	0.0	0	0.0	0.2	0.0	0	0.0	0.00	0.0	0	0.0	0
	8h	0.6	0.6	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0.00	0.0	0	0.0	0
	9h	0.4	0.4	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0.00	0.0	0	0.0	0
	10h	0.2	0.2	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0.00	0.0	0	0.0	0
	11h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0.00	0.0	0	0.0	0
	12h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0.00	0.0	0	0.0	0
	13h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0.00	0.0	0	0.0	0
	14h	0.0	0	0.0	0	0.2	0	0.0	0	0.0	0.00	0.0	0	0.1	0.2
	15h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0.00	0.0	0	0.0	0
	16h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0.00	0.0	0	0.0	0
	17h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0.00	0.0	0	0.0	0
	18h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0.00	0.0	0	0.0	0
	19h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0.00	0.0	0	0.0	0
	20h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0.00	0.0	0	0.0	0
	21h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0.00	0.0	0	0.0	0
	22h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0.00	0.0	0	0.0	0
	23h	0.0	0	0.0	0	0.0	8.6	0.0	0	0.0	0.00	0.0	0	0.2	0

		Ituverava		Passos		Patrocínio		Sacramento		São Sebastião do		Uberaba		Uberlândia	
		Grade	INMET	Grade	INMET	Grade	INMET	Grade	INMET	Grade	INMET	Grade	INMET	Grade	INMET
28-nov-17	0h	0.0	0.8	0.2	0	0.8	1	0.0	1	1.4	NULL	11.9	30.8	0.0	0
	1h	0.0	0	0.2	0	0.0	0	1.4	6	0.2	NULL	7.2	7.4	1.4	1.4
	2h	9.6	0	0.0	0	0.0	0	2.0	5	0.0	NULL	2.8	4	2.0	2
	3h	2.2	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0.8	0.0	NULL	0.2	0.2	0.0	0
	4h	3.6	0	0.0	0	0.1	0.2	0.2	0.4	0.0	NULL	0.0	0	0.2	0.2
	5h	0.3	0	0.0	0	0.4	0.4	0.0	0	0.0	NULL	0.0	0	0.0	0
	6h	0.0	0	0.0	0	0.2	0.2	0.0	0	0.0	NULL	0.0	0	0.0	0
	7h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	NULL	0.0	0	0.0	0
	8h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	NULL	0.0	0	0.0	0
	9h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	NULL	0.0	0	0.0	0
	10h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	NULL	0.0	0	0.0	0
	11h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	NULL	0.0	0	0.0	0
	12h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	NULL	0.0	0	0.0	0
	13h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	NULL	0.0	0	0.0	0
	14h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0
	15h	0.0	0	0.0	0	0.2	0.2	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0
	16h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0
	17h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	NULL	0.0	0	0.0	0
	18h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0
	19h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	NULL	0.0	0	0.0	0
	20h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0
	21h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	NULL	0.0	0	0.0	0
	22h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	NULL	0.0	0	0.0	0
	23h	18.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	NULL	0.0	0	0.0	0

Dia 29/11/2017.

		Araxá		Barretos		Campina Verde		Conceição das		Franca		Ituiutaba		Itumbiara	
		Grade	INMET	Grade	INMET	Grade	INMET	Grade	INMET	Grade	INMET	Grade	INMET	Grade	INMET
29-nov-17	0h	0.0	0	0.0	0	0.0	2	0.0	0	0.00	0.00	0.0	0	6.1	5.8
	1h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.00	0.00	0.0	0	12.2	13.8
	2h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.00	0.00	0.0	0	7.9	8.4
	3h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.00	0.00	0.0	0	0.3	0.2
	4h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.00	0.00	0.0	0	0.0	0
	5h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.00	0.00	0.0	0	0.0	0
	6h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.00	0.00	0.0	0	0.0	0
	7h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.00	0.00	0.0	0	0.0	0
	8h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.00	0.00	0.0	0	0.0	0
	9h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.00	0.00	0.0	0	0.0	0
	10h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.00	0.00	0.0	0	0.0	0
	11h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.00	0.00	0.0	0	0.0	0
	12h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.00	0.00	0.0	0	0.0	0
	13h	0.0	0	0.0	0	0.0	0.4	0.0	0	0.00	0.00	0.0	0	0.0	0
	14h	0.0	0	0.0	0	0.0	0.6	0.0	0	0.00	0.00	0.0	0	0.1	0.2
	15h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.00	0.00	0.0	0	0.0	0
	16h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.00	0.00	0.0	0	0.0	0
	17h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.00	0.00	0.0	0	0.0	0
	18h	0.0	0	0.0	0	0.0	0.2	0.0	0	0.00	0.00	0.0	0	0.0	0
	19h	1.0	1	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.00	0.00	0.0	0	0.0	0
	20h	2.2	2.2	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.00	0.00	0.0	0	20.8	20.4
	21h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.00	0.00	0.0	0	0.4	0.4
	22h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.00	0.00	0.0	0	3.8	5.8
	23h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.00	0.00	0.0	0	1.7	1.6

		Ituverava		Passos		Patrocínio		Sacramento		São Sebastião do		Uberaba		Uberlândia	
		Grade	INMET	Grade	INMET	Grade	INMET	Grade	INMET	Grade	INMET	Grade	INMET	Grade	INMET
29-nov-17	0h	17.5	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	NULL	0.0	0	0.0	0
	1h	4.2	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	NULL	0.0	0	0.0	0
	2h	7.6	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	NULL	0.0	0	0.0	0
	3h	0.2	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	NULL	0.0	0	0.0	0
	4h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	NULL	0.0	0	0.0	0
	5h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	NULL	0.0	0	0.0	0
	6h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	NULL	0.0	0	0.0	0
	7h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	NULL	0.0	0	0.0	0
	8h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	NULL	0.0	0	0.0	0
	9h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	NULL	0.0	0	0.0	0
	10h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	NULL	0.0	0	0.0	0
	11h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0
	12h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0.2	0.0	0
	13h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.3	0	0.0	0	0.0	0
	14h	0.2	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	1.0	0	0.0	0	0.0	0
	15h	0.0	0	0.4	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0
	16h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	NULL	0.0	0
	17h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	NULL	0.0	0
	18h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.2	0	0.0	0	0.0	0	0.2	0.2
	19h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0
	20h	25.9	0	0.0	0	0.0	0	1.0	0	0.0	0	0.0	0	1.0	1
	21h	1.5	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	NULL	0.0	0	0.0	0
	22h	1.1	0	0.0	0	0.0	0	3.0	0	0.0	NULL	0.0	0	3.0	3
	23h	1.7	0	2.0	0	0.0	0	1.4	0	0.0	NULL	0.0	14.4	1.4	1.4

Dia 30/11/2017.

		Araxá		Barretos		Campina Verde		Conceição das		Franca		Ituiutaba		Itumbiara	
		Grade	INMET	Grade	INMET	Grade	INMET	Grade	INMET	Grade	INMET	Grade	INMET	Grade	INMET
30-nov-17	0h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.00	0.00	0.0	0	0.0	0
	1h	0.0	0	0.0	0	1.2	0	0.0	0	0.00	0.00	0.0	0	0.0	0
	2h	0.0	0	0.0	0	0.4	0	0.0	0	0.00	0.00	21.0	18.6	0.0	0
	3h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.00	0.00	0.8	0.8	0.4	0.6
	4h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.00	0.00	0.0	0	1.0	1.8
	5h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.00	0.00	0.0	0	0.0	0
	6h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.00	0.00	0.0	0	0.1	0
	7h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.00	0.00	0.0	0	0.0	0
	8h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.00	0.00	0.0	0	0.0	0
	9h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.00	0.00	0.0	0	0.0	0
	10h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.00	0.00	0.0	0	0.0	0
	11h	0.0	0	0.0	0	0.2	0	0.0	0	0.00	0.00	0.0	0	0.0	0
	12h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.00	0.00	0.0	0	0.0	0
	13h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.00	0.00	0.0	0	0.0	0
	14h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.00	0.00	0.0	0	0.0	0
	15h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.00	0.00	0.0	0	0.0	0
	16h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.00	0.00	0.0	0	0.0	0
	17h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.00	0.00	0.0	0	0.0	0
	18h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.00	0.00	0.0	0	0.0	0
	19h	0.0	0	0.0	0	0.0	14	6.0	6	15.59	15.60	0.0	0	0.0	0
	20h	0.0	0	1.6	1.6	0.0	0	6.6	6.6	0.00	0.00	0.0	0	0.0	0
	21h	0.0	0	0.6	0.6	0.0	0	0.0	0	0.00	0.00	0.0	0	0.0	0
	22h	0.0	0	3.4	3.4	0.0	0	0.0	0	7.27	1.60	0.0	0	0.0	0
	23h	0.0	0	1.6	1.6	0.0	0	5.0	5	5.85	4.60	0.0	0	0.0	0

		Ituverava		Passos		Patrocínio		Sacramento		São Sebastião do		Uberaba		Uberlândia	
		Grade	INMET	Grade	INMET	Grade	INMET	Grade	INMET	Grade	INMET	Grade	INMET	Grade	INMET
30-nov-17	0h	0.5	0	0.0	0	0.0	0	0.2	0	0.0	NULL	0.0	0	0.2	0.2
	1h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	2.6	0	0.0	NULL	0.0	0	2.6	2.6
	2h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.2	0	0.0	NULL	0.0	0	0.2	0.2
	3h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	NULL	0.0	0	0.0	0
	4h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	NULL	0.0	0	0.0	0
	5h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	NULL	0.0	0	0.0	0
	6h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	NULL	0.0	0	0.0	0
	7h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	NULL	0.0	0	0.0	0
	8h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	NULL	0.0	0	0.0	0
	9h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	NULL	0.0	0	0.0	0
	10h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0
	11h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0
	12h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0
	13h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0
	14h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0
	15h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0
	16h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	13.1	NULL	0.0	0	0.0	0
	17h	0.3	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	NULL	0.0	0	0.0	0
	18h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.2	NULL	0.0	0	0.0	0
	19h	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.6	3.6	0.0	0	0.0	0
	20h	0.0	1.6	6.8	8.2	0.0	0	0.0	2	1.3	NULL	0.0	0	0.0	0
	21h	0.0	0.6	2.2	2.6	0.0	0	0.0	10.2	0.1	NULL	0.0	0	0.0	0
	22h	0.0	3.4	0.2	0.2	0.0	0	0.0	5.4	3.2	NULL	0.5	0	0.0	0
	23h	0.0	1.6	0.0	0	0.0	0	0.0	0	6.5	NULL	0.0	0	0.0	0

Dia 01/12/2017.

		Araxá		Barretos		Campina Verde		Conceição das		Franca		Ituiutaba		Itumbiara	
		Grade	INMET	Grade	INMET	Grade	INMET	Grade	INMET	Grade	INMET	Grade	INMET	Grade	INMET
1-dez-17	0h	0.00	0.00	11.80	11.80	0.00	0.00	0.20	0.20	2.59	2.60	0.00	0.00	0.00	0.00
	1h	4.59	0.00	1.00	12.00	2.41	0.00	0.00	0.60	0.00	1.80	14.20	0.00	2.55	0.00
	2h	0.00	0.00	5.00	5.00	0.00	0.00	0.41	0.40	1.59	1.60	0.00	0.00	0.00	0.00
	3h	0.00	0.00	1.41	1.40	0.20	0.00	0.00	0.00	4.20	4.20	0.00	0.00	0.00	0.00
	4h	0.59	0.60	4.59	4.60	1.41	0.00	0.00	0.00	5.80	5.80	0.33	0.40	0.00	0.00
	5h	0.80	0.80	2.41	2.40	0.20	0.00	0.59	0.60	3.59	3.60	1.20	1.20	0.02	0.00
	6h	1.20	1.20	11.20	11.20	0.41	0.00	0.20	0.20	2.20	2.20	1.13	1.00	0.00	0.00
	7h	2.20	2.20	21.59	21.60	0.00	0.00	0.00	0.00	2.41	2.40	0.00	0.00	0.33	0.40
	8h	3.20	3.20	4.41	4.40	0.00	0.00	0.00	0.00	2.59	2.60	0.00	0.00	0.19	0.20
	9h	3.59	3.60	0.20	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	1.41	1.40	0.00	0.00	0.08	0.00
	10h	3.80	3.80	0.20	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	0.20	0.45	0.40	0.00	0.00
	11h	4.59	4.60	1.00	1.00	2.41	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	14.20	14.20	2.55	2.80
	12h	4.80	4.80	0.41	0.40	0.20	0.00	0.00	0.00	0.20	0.20	0.00	0.00	0.63	0.20
	13h	5.00	5.00	3.59	3.60	0.20	0.00	0.00	0.00	0.20	0.20	0.22	0.20	1.72	2.20
	14h	4.80	4.80	2.20	2.20	0.00	0.20	0.80	0.80	0.00	0.00	3.61	3.20	0.95	0.60
	15h	4.80	4.80	0.80	0.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.59	0.60	0.00	0.00	0.00	0.00
	16h	4.80	4.80	1.80	1.80	0.20	0.00	0.02	0.00	1.20	1.20	0.00	0.00	0.58	0.60
	17h	4.80	4.80	3.00	3.00	0.80	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.19	0.20
	18h	4.59	4.60	13.59	13.60	0.00	0.00	1.13	0.00	1.81	1.80	0.00	0.00	0.00	0.00
	19h	4.20	4.20	0.41	0.40	0.80	0.00	1.55	0.00	8.00	8.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	20h	4.41	4.40	1.00	1.00	3.41	0.00	0.91	0.00	13.00	13.00	0.00	0.00	0.64	0.40
	21h	3.80	3.80	3.41	3.40	31.00	0.00	0.95	0.00	18.00	18.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	22h	0.06	3.60	1.41	1.40	14.00	0.00	0.50	0.00	1.80	1.80	0.30	0.60	0.00	0.00
	23h	3.41	3.40	0.41	0.40	0.00	0.00	0.00	0.00	2.20	2.20	3.33	3.40	0.08	0.00

		Ituverava		Passos		Patrocínio		Sacramento		São Sebastião do		Uberaba		Uberlândia	
		Grade	INMET	Grade	INMET	Grade	INMET	Grade	INMET	Grade	INMET	Grade	INMET	Grade	INMET
1-dez-17	0h	0.00	11.80	0.83	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.31	NULL	0.44	0.00	0.00	0.00
	1h	5.16	12.00	1.00	0.40	1.42	0.00	0.59	1.20	0.00	NULL	0.16	1.00	0.59	5.00
	2h	0.00	5.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.20	2.00	NULL	7.64	21.00	0.00	0.00
	3h	0.00	1.40	1.83	2.20	0.00	0.00	0.00	12.00	2.30	NULL	5.97	13.60	0.00	0.00
	4h	0.00	4.60	4.17	5.00	0.00	0.00	0.00	8.00	5.58	NULL	1.83	7.40	0.00	0.00
	5h	0.00	2.40	3.59	3.60	3.61	3.40	0.20	10.40	3.03	NULL	10.94	14.80	0.20	0.20
	6h	0.00	11.20	4.33	5.00	1.44	1.40	0.20	16.00	0.48	NULL	0.00	6.00	0.20	0.20
	7h	0.39	21.60	2.17	2.60	0.00	0.00	0.80	6.60	0.42	NULL	1.06	1.80	0.80	0.80
	8h	0.50	4.40	1.67	1.80	2.73	2.60	0.41	1.40	0.42	NULL	0.48	4.20	0.41	0.40
	9h	0.00	0.20	1.17	1.40	4.39	4.40	0.00	0.80	0.06	NULL	1.13	1.40	0.00	0.00
	10h	0.00	0.20	0.50	0.60	15.00	14.40	0.20	0.60	0.16	NULL	0.09	10.20	0.20	0.20
	11h	5.16	1.00	1.00	1.00	1.42	1.40	0.59	0.40	0.00	NULL	0.16	7.60	0.59	0.60
	12h	0.19	0.40	1.00	NULL	2.52	2.40	0.39	14.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.42	0.40
	13h	1.63	3.60	3.00	NULL	9.45	9.00	0.89	0.40	0.00	0.00	0.00	0.00	1.05	1.20
	14h	0.88	2.20	7.00	NULL	7.61	7.20	2.16	0.00	0.90	0.00	0.20	0.20	2.88	3.00
	15h	0.00	0.80	0.00	NULL	14.13	13.40	3.78	0.60	1.34	0.00	2.25	11.80	4.59	4.60
	16h	0.00	1.80	1.83	2.00	0.61	0.60	2.00	10.60	1.03	3.60	1.22	1.60	2.00	2.00
	17h	0.23	3.00	1.33	1.20	2.09	2.20	0.20	16.20	1.17	1.40	0.20	0.80	0.20	0.20
	18h	0.00	13.60	1.50	1.60	3.50	3.40	0.00	2.20	0.84	1.80	0.72	0.00	0.00	0.00
	19h	0.00	0.40	1.17	0.80	0.41	0.40	0.00	5.80	5.33	NULL	0.61	0.20	0.00	0.00
	20h	3.33	1.00	1.33	1.60	0.00	0.00	0.00	0.20	6.67	NULL	0.72	0.60	0.00	0.00
	21h	0.27	3.40	2.17	2.60	0.41	0.40	0.00	0.40	1.38	NULL	0.20	0.20	0.00	0.00
	22h	0.00	1.40	3.50	4.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.56	NULL	0.14	0.00	0.00	0.00
	23h	0.00	0.40	3.67	4.40	0.00	0.00	0.20	0.00	0.09	NULL	0.17	1.60	0.20	0.20

APÊNDICE B

```

from tkinter import *
import tkinter as Tkinter
from tkinter.filedialog import askopenfilename, askdirectory
import tkinter.ttk as ttk
from tkinter import messagebox
from collections import Counter, OrderedDict
import random

import csv
from dbfpy3 import dbf
import os
import sys
import glob
import queue
import threading

class ThreadedTask(threading.Thread):
    def __init__(self, queue, dados, areas, inpf, prioridades, nsample):
        threading.Thread.__init__(self)
        self.queue = queue
        self.dados = dados
        self.areas = areas
        self.inpf = inpf
        self.prioridades = prioridades
        self.nsample = nsample
        self.timseriesection = """
[TIMESERIES]
;;Name      Date      Time      Value
;;-----
        """

        self._stop_event = threading.Event()

    def stop(self):
        self._stop_event.set()

    def inpe_create(self):
        tmp = ""
        tmp2 = ""
        iniciou = False
        finalizou = False
        with open(self.inpf) as inpf:
            for line in inpf.readlines():
                if line == "[TIMESERIES]\n":
                    iniciou = True

                if iniciou is True and finalizou is False:
                    if line[0] == "[":
                        finalizou = True

                if iniciou is False:
                    tmp += line

                if finalizou is True:
                    tmp2 += line

```



```

return tmp, tmp2

def monte_carlo(self, dadosADH, samples=1500):
    prediction = OrderedDict()
    for data in dadosADH:
        for hora in dadosADH[data]:
            dados = dadosADH[data][hora]
            vrandom = random.SystemRandom()

            rands = sum([vrandom.choice(dados)
                        for _ in range(samples)]
                        ) / samples
            rands = round(rands, 2)
            print("Monte Carlo")
            print(data, hora, rands)

        if data not in prediction:
            prediction[data] = OrderedDict()

        if hora not in prediction[data]:
            prediction[data][hora] = rands
    return prediction

def area_date_time(self):
    dados_areadatahora = OrderedDict()

    for area in self.areas:
        for di in self.dados:
            nomeArq = di.split("/")[-1]
            nomeArq = nomeArq.split(".")[0]
            datatempo = nomeArq.split("_")[-1]
            data = "{0}/{1}/{2}".format(datatempo[4:6],
                                       datatempo[6:8],
                                       datatempo[0:4])

            if len(datatempo[8:]) == 2 :
                hora = "{0}:{1}".format(datatempo[8:], '00')
            else:
                hora = "{0}:{1}".format(datatempo[8:10], datatempo[10:])

            with open(di, encoding='utf-8') as difile:
                apgs = [i.replace("\n", "").split(",")
                        for i in list(difile.readlines())[1:]
                        ]
                for apgi in apgs:
                    if apgi[0] in self.areas[area]:
                        if apgi[1] != "0.0":
                            if data not in dados_areadatahora:
                                dados_areadatahora[data] = OrderedDict()

```

```

        if hora not in dados_areadatahora[data]:
            dados_areadatahora[data][hora] = []
            tmp = float(self.prioridades[area])
            tmp *= float(apgi[1])

            dados_areadatahora[data][hora].append(tmp)
    return dados_areadatahora

def run(self):
    p1, p2 = self.inpe_create()
    dados = self.area_date_time()
    preditions = self.monte_carlo(dados, samples=self.nsample)
    datas = list(preditions.keys())
    datas.sort()

    for data in datas:
        horas = list(preditions[data].keys())
        horas.sort()

        for hora in horas:
            dado = preditions[data][hora]
            dadots = "MC          {0}    {1}    {2}\n".format(data,
                                                            hora,
                                                            dado)

            self.timseriesection += dadots

    if p1 != "":
        p1 = p1 + self.timseriesection + p2
        nmodel = self.inpfile.split(".")[0] + "_MonteCarlo.inp"
        with open(nmodel, 'w') as nfile:
            nfile.write(p1)
    else:
        with open(self.inpfile, 'a') as nfile:
            nfile.write(self.timseriesection)
    self.queue.put("Task finished")

class Application:
    def __init__(self, master=None):

        self.widget1 = ttk.Frame(master, relief='flat', borderwidth=4)

        self.widget1.pack()
        self.saidal = Label(self.widget1, text="Atualizador de INP.")
        self.saidal.pack(padx=10, pady=10)

        self.l01 = Label(self.widget1, text="Total de Amostras:")
        self.l01.pack(padx=10, pady=10)

        self.ent01 = Entry(self.widget1, text='500')
        self.ent01["width"] = 25
        self.ent01.pack(padx=10, pady=10)

        self.btn1 = Button(self.widget1)

```

```

self.btn1["text"] = "Abrir .INP"
self.btn1["font"] = ("Calibri", "8")
self.btn1["width"] = 20
self.btn1["command"] = self.open_inp
self.btn1.pack(padx=10, pady=10)

self.btn2 = Button(self.widget1)
self.btn2["text"] = "Abrir Area de Pontos de Grade"
self.btn2["font"] = ("Calibri", "8")
self.btn2["width"] = 30
self.btn2["command"] = self.open_apg
self.btn2.pack(padx=10, pady=10)

self.btn7 = Button(self.widget1)
self.btn7["text"] = "Abrir Prioridades"
self.btn7["font"] = ("Calibri", "8")
self.btn7["width"] = 30
self.btn7["command"] = self.open_prior
self.btn7.pack(padx=10, pady=10)

self.btn3 = Button(self.widget1)
self.btn3["text"] = "Diretorio de Dados"
self.btn3["font"] = ("Calibri", "8")
self.btn3["width"] = 20
self.btn3["command"] = self.open_datadir
self.btn3.pack(padx=10, pady=10)

self.btn4 = Button(self.widget1)
self.btn4["text"] = "Atualizar INP"
self.btn4["font"] = ("Calibri", "8")
self.btn4["width"] = 20
self.btn4["command"] = self.atualizar_inp
self.btn4.pack(padx=10, pady=10)

self.progress = ttk.Progressbar(self.widget1, orient="horizontal",
                                length=200, mode="indeterminate")
self.progress.pack()

self.btn5 = Button(self.widget1)
self.btn5["text"] = "Converter dbf2csv"
self.btn5["font"] = ("Calibri", "8")
self.btn5["width"] = 20
self.btn5["command"] = self.dbf2csv
self.btn5.pack(padx=10, pady=10)

self.btn6 = Button(self.widget1)
self.btn6["text"] = "Converter em massa dbf2csv"
self.btn6["font"] = ("Calibri", "8")
self.btn6["width"] = 25
self.btn6["command"] = self.massa_dbf2csv

```

```
self.btn6.pack(padx=10, pady=10)
```

```
self.my_inp = None
self.my_dada_dir = None
self.my_open_apg = None
self.my_open_prior = None
```

```
self.areas = None
self.calculando = False
self.mythread = None
self.prioridades = None
self.nsample = 500
```

```
def quit(self):
    self.root.destroy()
```

```
def atualizar_inp(self):
```

```
    if self.areas is None:
        self.open_apg()
```

```
    if self.my_inp is None:
        self.open_inp()
```

```
    if self.my_dada_dir is None:
        self.open_datadir()
```

```
    if self.my_open_prior is None:
        self.open_prior()
```

```
    dados = glob.glob(self.my_dada_dir + "/*.csv")
    if dados:
```

```
        if self.calculando is False:
            self.calculando = True
            self.progress.start()
            self.queue = queue.Queue()
            nsampe = self.ent01.get()
            if nsampe:
                self.nsample = int(nsampe)
```

```
            self.mythread = ThreadedTask(self.queue, dados,
                                          self.areas,
                                          self.my_inp,
                                          self.prioridades,
                                          self.nsample)
```

```
            self.mythread.setDaemon(True)
            self.mythread.start()
            self.widget1.after(100, self._dados_por_area)
```

```
        else:
            messagebox.showinfo("Aguarde" ,
```

```

        "Arquivo em atualizacao")

def _dados_por_area(self):
    try:
        msg = self.queue.get(0)
        self.progress.stop()
        self.calculando = False
        messagebox.showinfo("Pronto" ,
            "Arquivo Atualizado.")
    except queue.Empty:
        self.widget1.after(100, self._dados_por_area)

def open_prior(self):
    if self.calculando is True:
        messagebox.showinfo("Aguarde" ,
            "Arquivo em atualizacao")
    else:
        self.my_open_prior = askopenfilename(initialdir=".",
            filetypes=(("APG csv", ["*.csv", "*.CSV"])),
            title = "Escolha Lista de Prioridades")

        if self.my_open_prior != "":
            with open(self.my_open_prior, encoding='utf-8') as apgfile:
                apgs = [[j for j in i.replace("\n", "").split(",") if j != ""]
                    for i in list(apgfile.readlines())[1:]]
                self.prioridades = {apgs[i][0]: apgs[i][2]
                    for i in range(len(apgs))}

def open_apg(self):

    if self.calculando is True:
        messagebox.showinfo("Aguarde" ,
            "Arquivo em atualizacao")
    else:
        self.my_open_apg = askopenfilename(initialdir=".",
            filetypes=(("APG csv", ["*.csv", "*.CSV"])),
            title = "Escolha um Area de Ponto de Grade")

        nomeArea = []

        if self.my_open_apg != "":
            with open(self.my_open_apg, encoding='utf-8') as apgfile:
                apgs = [[j for j in i.replace("\n", "").split(",") if j != ""]
                    for i in list(apgfile.readlines())[1:]]
                apgs = [i for i in apgs if len(i) == 2]

                nomeArea = list(set([i[0] for i in apgs]))
                nomeArea.sort()

        self.areas = OrderedDict()

```

```

        for i in nomeArea:
            self.areas[i] = []

        for apg in apgs:
            self.areas[apg[0]].append(apg[1])

    def open_inp(self):
        if self.calculando is True:
            messagebox.showinfo("Aguarde" ,
                                "Arquivo em atualizacao")
        else:
            self.my_inp = askopenfilename(initialdir=".",
                                           filetype= (("Modelo INP", [ "*.inp", ".INP"]), ("All Files", "*.*")),
                                           title = "Escolha um arquivo")

    def open_datadir(self):
        if self.calculando is True:
            messagebox.showinfo("Aguarde" ,
                                "Arquivo em atualizacao")
        else:
            self.my_dada_dir = askdirectory()

    def dbf2csv(self):
        if self.calculando is True:
            messagebox.showinfo("Aguarde" ,
                                "Arquivo em atualizacao")
        else:
            filename = askopenfilename(initialdir=".",
                                       filetype= (("DBF dbf", [ "*.dbf", ".DBF"]),
                                       title = "Escolha um arquivo")

            if filename != "":
                self._dbf2csv(filename)

    def _dbf2csv(self, filename):
        if self.calculando is True:
            messagebox.showinfo("Aguarde" ,
                                "Arquivo em atualizacao")
        else:
            csv_fn = filename[:-4]+ ".csv"
            with open(csv_fn,'wb') as csvfile:
                in_db = dbf.Dbff(filename)
                out_csv = csv.writer(csvfile)
                names = []
                for field in in_db.header.fields:
                    names.append(field.name)
                out_csv.writerow(names)
                for rec in in_db:
                    out_csv.writerow(rec.fieldData)
                in_db.close()

```

```
def massa_dbf2csv(self):
    if self.calculando is True:
        messagebox.showinfo("Aguarde" ,
            "Arquivo em atualizacao")
    else:
        my_inp = askdirectory()

        alldbf = glob.glob(my_inp + "/*.dbf")

        for idbf in alldbf:
            self._dbf2csv(idbf)

if(__name__ == "__main__"):
    root = Tkinter.Tk()
    root.title("Atualiza INP")
    root.geometry("400x500")

    Application(root)
    root.mainloop()
```

APÊNDICE C

Área de drenagem	Declividade (%)
533	0,0863
534	0,1094
535	0,0859
537	0,0881
538	0,129
541	0,113
542	0,1148
543	0,0933
544	0,1122
545	0,1254
546	0,0925
552	0,1069
553	0,1237
554	0,0871
555	0,1097
556	0,0566
559	0,0478
560	0,0782
561	0,0585
562	0,0457
563	0,035
564	0,0936
565	0,0673
566	0,0782
567	0,0325

Área de drenagem	Declividade (%)
484	0,0998
485	0,1322
486	0,0702
495	0,1151
496	0,0936
497	0,1348
498	0,118
503	0,0891
504	0,1408
505	0,1288
510	0,0924
511	0,0771
515	0,0988
516	0,1154
520	0,0892
521	0,0972
522	0,1364
523	0,1063
524	0,0824
525	0,0959
526	0,1013
527	0,1237
528	0,0791
531	0,1526
532	0,0847

Área de drenagem	Declividade (%)
432	0,1046
433	0,0636
434	0,0674
437	0,0977
438	0,0793
439	0,1111
440	0,1322
441	0,1801
442	0,1096
443	0,0888
444	0,1384
445	0,1133
446	0,1432
447	0,1129
448	0,1118
461	0,1196
462	0,0832
465	0,0745
468	0,1128
470	0,1999
473	0,1175
477	0,116
478	0,1771
479	0,0878
482	0,1119

Área de drenagem	Declividade (%)
333	0,1031
373	0,0892
382	0,0666
383	0,0886
384	0,0766
385	0,0829
398	0,068
399	0,0616
401	0,1024
402	0,0738
416	0,0633
417	0,0823
418	0,0547
419	0,0765
420	0,0834
421	0,0788
422	0,0825
423	0,075
424	0,1067
425	0,093
427	0,0825
428	0,0675
429	0,0874
430	0,0782
431	0,1052

Área de drenagem	Declividade (%)
97	0,0964
98	0,1122
99	0,0801
122	0,0476
123	0,0477
171	0,0453
172	0,0859
173	0,1163
174	0,0968
175	0,1127
176	0,0933
177	0,0692
178	0,1005
179	0,2096
181	0,1527
183	0,2517
260	0,1413
262	0,1387
263	0,0568
264	0,1127
265	0,056
266	0,0941
328	0,1409
331	0,0883
332	0,0849

Área de drenagem	Declividade de (%)
23	0.0994
28	0.0814
29	0.0769
30	0.082
31	0.0783
32	0.1101
33	0.1107
34	0.1049
35	0.1073
36	0.102
37	0.1014
38	0.0847
39	0.1123
68	0.0906
69	0.0889
70	0.0824
71	0.0919
72	0.1067
73	0.0938
74	0.0977
75	0.0993
77	0.1011
78	0.0861
79	0.083
86	0.0857

Área de drenagem	Declividade (%)
568	0,0936
569	0,0633
570	0,0461
571	0,0713
572	0,0769
573	0,072
574	0,0747
575	0,0792
577	0,0473
578	0,0498
579	0,0555
583	0,0933
585	0,0948
586	0,0493
591	0,0872
592	0,0673
593	0,0869
594	0,1215
595	0,0525
596	0,1257
597	0,0717
598	0,0805
600	0,0937
603	0,0437
608	0,0971

Área de drenagem	Declividade (%)
609	0,0678
613	0,1366
614	0,1637
615	0,1032
616	0,0831
617	0,1081
618	0,0892
619	0,0764
620	0,0778
621	0,0812
622	0,0904
623	0,0704
624	0,0965
629	0,0411
630	0,1172
631	0,2135
635	0,0734
636	0,0926
638	0,095
639	0,1985
643	0,1725
644	0,1007
645	0,1035
649	0,0547
650	0,118

Área de drenagem	Declividade (%)
651	0,1095
655	0,0827
658	0,0609
660	0,1012
666	0,1001
667	0,0653
671	0,1036
672	0,1088
673	0,1533
674	0,1067
678	0,1379
682	0,1047
683	0,1109
684	0,1231
685	0,1296
686	0,0756
687	0,1004
688	0,1285
689	0,1017
690	0,1121
691	0,1395
698	0,1032
705	0,092
706	0,0909
713	0,0977

Área de drenagem	Declividade (%)
716	0,1158
717	0,1193
718	0,105
757	0,0861
769	0,06
770	0,0483
771	0,0525
772	0,0534
773	0,0508
774	0,0684
775	0,0913
776	0,078
777	0,1123
778	0,0823
779	0,0961
780	0,0699
781	0,1061
782	0,102
783	0,0971
784	0,1142
785	0,0553
786	0,097
787	0,1709
788	0,0996
789	0,0925

Área de drenagem	Declividade (%)
790	0,104
791	0,0936
792	0,1207
793	0,0791
794	0,1099
795	0,0753
796	0,1647
797	0,1006
798	0,0814
799	0,0896
800	0,194
801	0,0886
802	0,0769
803	0,0861
804	0,0917
805	0,132
806	0,1356
807	0,0915
808	0,0397
810	0,0938
833	0,0942
834	0,0885
835	0,0885
836	0,0845
837	0,0544

Área de drenagem	Declividade (%)
838	0,1077
839	0,1022
840	0,0876
841	0,1183
842	0,0833
843	0,0528
844	0,0938
850	0,22
853	0,0971
863	0,1007
864	0,1588
1063	0,0768
1064	0,0891
1065	0,0687
1066	0,0774
1067	0,0851
1068	0,0791
1069	0,1233
1070	0,0791
1071	0,119
1072	0,1003
1073	0,0773
1074	0,1157
1163	0,0817
1260	0,0769

Área de drenagem	Declividade (%)
4027	0,1006
4028	0,081
4029	0,0564
4030	0,0561
4031	0,1017
4032	0,0977
4033	0,0713
5000	0,0512
5001	0,0484
5002	0,0497
5003	0,0444

Área de drenagem	Declividade (%)
4001	0,0765
4002	0,0483
4003	0,0468
4005	0,0799
4006	0,1012
4007	0,1065
4008	0,1003
4009	0,0661
4010	0,1071
4011	0,0841
4012	0,0794
4013	0,1343
4014	0,1107
4015	0,0981
4016	0,1468
4017	0,092
4018	0,087
4019	0,0871
4020	0,0216
4021	0,0264
4022	0,07
4023	0,0628
4024	0,1797
4025	0,1516
4026	0,0791

Área de drenagem	Declividade (%)
1576	0,0797
1577	0,0963
1578	0,089
1579	0,1081
1580	0,1169
1581	0,0735
1582	0,0778
1584	0,0741
1585	0,1272
1586	0,0884
1587	0,1109
1588	0,1142
1589	0,0739
1590	0,1003
1591	0,1084
1592	0,1038
1593	0,0772
1594	0,1094
1595	0,106
1596	0,0996
1597	0,0821
1598	0,163
1599	0,0979
1600	0,0979
1601	0,1039

Área de drenagem	Declividade (%)
1470	0,0992
1471	0,1197
1472	0,1359
1487	0,0912
1508	0,0921
1533	0,0927
1557	0,1092
1558	0,1282
1559	0,0755
1560	0,1165
1561	0,0774
1562	0,1173
1563	0,1341
1564	0,0903
1565	0,1039
1566	0,112
1567	0,1764
1568	0,1459
1569	0,186
1570	0,1325
1571	0,1657
1572	0,1035
1573	0,1132
1574	0,0962
1575	0,0732

Área de drenagem	Declividade (%)
1329	0,0697
1330	0,0555
1331	0,0769
1332	0,0531
1333	0,0984
1334	0,0921
1335	0,0816
1336	0,1332
1337	0,0679
1338	0,056
1378	0,0926
1390	0,086
1391	0,0962
1392	0,1419
1393	0,0988
1394	0,0866
1396	0,1113
1406	0,102
1407	0,0962
1408	0,0772
1409	0,0555
1410	0,103
1411	0,1187
1412	0,0954
1466	0,1205

Área de drenagem	Declividade (%)
1286	0,1143
1287	0,1362
1288	0,103
1289	0,1079
1290	0,1397
1291	0,0852
1292	0,083
1293	0,0983
1294	0,1156
1295	0,1727
1296	0,1596
1297	0,1057
1298	0,1514
1299	0,1085
1300	0,1256
1301	0,0988
1302	0,0852
1321	0,0674
1322	0,079
1323	0,0708
1324	0,059
1325	0,0833
1326	0,0928
1327	0,0783
1328	0,0541

Área de drenagem	Declividade (%)
1261	0,1107
1262	0,0877
1263	0,1111
1264	0,1229
1265	0,11
1266	0,0829
1267	0,0938
1268	0,1164
1269	0,1295
1270	0,082
1271	0,1152
1272	0,0844
1273	0,1081
1274	0,1125
1275	0,1165
1276	0,1054
1277	0,059
1278	0,1408
1279	0,0608
1280	0,0729
1281	0,0451
1282	0,0375
1283	0,0497
1284	0,0729
1285	0,1401

APÊNDICE D

Área de drenagem	Impermeabilidade (%)	Área de drenagem	Impermeabilidade (%)	Área de drenagem	Impermeabilidade (%)	Área de drenagem	Impermeabilidade (%)	Área de drenagem	Impermeabilidade (%)	Área de drenagem	Impermeabilidade (%)
23	83.22	97	78.03	333	69.39	432	86.37	484	95,8	533	62,72
28	86.34	98	91.07	373	82.41	433	87.86	485	98,6	534	58,35
29	89.97	99	77.83	382	83	434	82.19	486	90,5	535	47,56
30	77.47	122	94.2	383	84.38	437	43.54	495	88,31	537	88
31	89.97	123	86.77	384	67.83	438	72.39	496	85,22	538	97,48
32	77.63	171	91.32	385	72.48	439	87.35	497	89,48	541	96,71
33	78.56	172	80.05	398	63.69	440	89.83	498	97,28	542	88,82
34	66.5	173	88.44	399	91.99	441	93.18	503	96,99	543	92,14
35	78.4	174	44.16	401	69.49	442	97.07	504	97,27	544	88,33
36	85.9	175	78.32	402	91.45	443	79.78	505	94,42	545	93,74
37	95.03	176	56.35	416	90.49	444	80.39	510	89,7	546	88,87
38	89.61	177	85.19	417	88.25	445	83.71	511	86,68	552	90,73
39	76.18	178	62.34	418	90.05	446	93.41	515	91,6	553	78,36
68	53.23	179	78.07	419	89.77	447	85.97	516	95,71	554	72,82
69	61.67	181	85.37	420	89.09	448	87.58	520	91,1	555	46,58
70	84.98	183	95	421	84.22	461	77.35	521	99,29	556	90,3
71	35.06	260	82.97	422	86.16	462	98	522	91,73	559	52,14
72	84.24	262	83.92	423	93.46	465	86.45	523	89,83	560	85,76
73	83.23	263	88.37	424	51.3	468	82.18	524	82,16	561	70,44
74	95.18	264	85.78	425	90.89	470	87.3	525	91,36	562	87,35
75	85	265	46.17	427	93.74	473	90.11	526	87,024	563	86,86
77	66.73	266	73.76	428	82.55	477	92.77	527	88,23	564	87,61
78	76.48	328	27.47	429	79.72	478	92.93	528	98,74	565	52,05
79	75.32	331	86.05	430	71.65	479	99.12	531	83,32	566	7,46
86	47.3	332	97.27	431	79.98	482	56.41	532	83	567	81,85

Área de drenagem	Impermeabilidade (%)
838	96,65
839	94,64
840	72,91
841	93,45
842	82,4
843	89,32
844	35,39
850	28,45
853	73,32
863	72,61
864	43,76
1063	84,26
1064	82,14
1065	75,7
1066	87,75
1067	71,18
1068	81,51
1069	89,95
1070	90,36
1071	89,12
1072	74,74
1073	69,88
1074	57,75
1163	80,58
1260	58,94

Área de drenagem	Impermeabilidade (%)
790	50,9
791	1,99
792	8,36
793	15,32
794	23,51
795	92,68
796	33,8
797	86,44
798	76,54
799	55
800	47,81
801	39,78
802	61,17
803	27,54
804	90,39
805	0,3
806	58,86
807	77,7
808	87,69
810	10,06
833	83,14
834	94,22
835	63,1
836	63,78
837	79,04

Área de drenagem	Impermeabilidade (%)
716	73,92
717	36,71
718	68,01
757	78,12
769	85,64
770	93,22
771	95,5
772	87,42
773	90,68
774	85,87
775	83,11
776	80,81
777	51,6
778	76,53
779	80,26
780	84,88
781	90,47
782	74,07
783	80,11
784	85,63
785	76,44
786	58,27
787	32,66
788	38,56
789	44,14

Área de drenagem	Impermeabilidade (%)
651	89,23
655	82,73
658	93,44
660	82,7
666	96,8
667	78,56
671	86,81
672	87,33
673	79,15
674	98,91
678	98,4
682	80,79
683	81,37
684	86,7
685	89,3
686	89,61
687	92,9
688	82,04
689	94,72
690	85,66
691	90,16
698	81,97
705	100
706	86,99
713	100

Área de drenagem	Impermeabilidade (%)
609	79,97
613	80,88
614	71,9
615	69,18
616	86,25
617	85,51
618	89,77
619	78,81
620	87,42
621	43,46
622	79,26
623	83,46
624	83,78
629	81,68
630	67,15
631	97,23
635	73,99
636	75,31
638	68,57
639	64,12
643	88,86
644	98,47
645	87,98
649	99,29
650	83,37

Área de drenagem	Impermeabilidade (%)
568	80,05
569	91,05
570	91,01
571	88,54
572	86,73
573	85,32
574	76,6
575	91,98
577	72,18
578	38,76
579	92,48
583	70,76
585	71,65
586	92,86
591	85,4
592	93,24
593	88,91
594	94,38
595	95,52
596	89,63
597	93,89
598	87,58
600	81,46
603	81,44
608	89,42

Área de drenagem	Impermeabilidade (%)
4027	87,86
4028	70,36
4029	77,4
4030	87,12
4031	86,44
4032	87,46
4033	83,16
5000	90,29
5001	78
5002	86,84
5003	89,75

Área de drenagem	Impermeabilidade (%)
4001	73,19
4002	92,72
4003	78,01
4005	86,55
4006	90,43
4007	91,99
4008	93,32
4009	80,73
4010	90,97
4011	73,84
4012	86,88
4013	39,96
4014	49,79
4015	74,16
4016	86,13
4017	52,75
4018	17,53
4019	36,22
4020	56,02
4021	56,95
4022	81,06
4023	72,83
4024	73,36
4025	75,04
4026	74,27

Área de drenagem	Impermeabilidade (%)
1576	93,72
1577	80,48
1578	82,26
1579	81,54
1580	55,03
1581	84,86
1582	81,68
1584	77,14
1585	87,23
1586	88,24
1587	78,24
1588	78,08
1589	81,87
1590	86,02
1591	89
1592	82,86
1593	77,35
1594	75,12
1595	73,5
1596	71,22
1597	57,57
1598	27,46
1599	66,86
1600	58,17
1601	88,15

Área de drenagem	Impermeabilidade (%)
1470	73,08
1471	59,78
1472	96,15
1487	91,24
1508	51,29
1533	74,02
1557	74,71
1558	79,36
1559	77,39
1560	58,22
1561	86,85
1562	7,66
1563	90,99
1564	77,01
1565	86,45
1566	91,63
1567	92,91
1568	97,7
1569	84,56
1570	94,33
1571	91,66
1572	98,98
1573	93,41
1574	100
1575	96,54

Área de drenagem	Impermeabilidade (%)
1329	79,74
1330	82,13
1331	83,95
1332	78,22
1333	82,35
1334	76,81
1335	71,22
1336	48,09
1337	50,86
1338	39,61
1378	78,1
1390	80,69
1391	76,03
1392	79,99
1393	95,04
1394	60
1396	81,49
1406	77,14
1407	78,85
1408	88,83
1409	73,45
1410	82,79
1411	85,8
1412	97,23
1466	32,04

Área de drenagem	Impermeabilidade (%)
1286	54,76
1287	14,4
1288	77,06
1289	49,44
1290	29,97
1291	87,63
1292	86,14
1293	81,95
1294	58,34
1295	89,85
1296	8,54
1297	12,83
1298	66,69
1299	48,66
1300	65,36
1301	71,17
1302	44,05
1321	75,04
1322	84,71
1323	86,55
1324	88,33
1325	65,86
1326	45,98
1327	79,667
1328	24,86

Área de drenagem	Impermeabilidade (%)
1261	92,1
1262	85,51
1263	80,42
1264	95,27
1265	93,91
1266	61,09
1267	94,99
1268	89,62
1269	40,35
1270	71,79
1271	51,2
1272	94,62
1273	77,88
1274	83,13
1275	73,37
1276	72,1
1277	83,98
1278	87,4
1279	95,19
1280	93,93
1281	55,15
1282	43,11
1283	79,58
1284	77,61
1285	31,69

APÊNDICE E

Área de drenagem	Eq. 35	Eq. 36
484	61,78	327,8
485	65,72	266,3
486	53,11	70
495	60,14	377,2
496	128,58	674,3
497	44,15	66
498	68,39	340,3
503	18,27	100,3
504	59,08	113,4
505	89,98	306,3
510	7,9	7,9
511	37,79	224,9
515	38,7	111,1
516	32,86	85,2
520	31,15	132,8
521	30,43	46
522	48,12	85,2
523	56,3	270,36
524	29,96	138,8
525	97,01	411,31
526	59,71	176,9
527	47,69	73
528	42,44	218,7
531	357,1	357,1
532	152,1	152,1

Área de drenagem	Eq. 35	Eq. 36
432	354,48	354,48
433	43,16	300,28
434	117,99	298,67
437	668,07	1296,28
438	110,21	358,1
439	41,2	41,2
440	46,5	46,5
441	42,4	42,4
442	31,23	42,7
443	52,29	110
444	57,95	78,4
445	46,49	61,8
446	37,05	71
447	28,16	71
448	60,36	65
461	28,15	90,09
462	76,17	436,4
465	132,94	612,3
468	113,73	594,4
470	72,77	88,5
473	38,74	86,4
477	75,24	277,1
478	37,9	74
479	57	358,8
482	45,05	299,9

Área de drenagem	Eq. 35	Eq. 36
333	62,39	155,48
373	64,26	156,01
382	58,74	217,92
383	68,66	198,07
384	44,96	211,31
385	33,76	66,75
398	31,27	67,4
399	40,01	174,96
401	56,43	136,45
402	49,84	122,4
416	103,07	342,5
417	21,46	144,45
418	59,86	284
419	67,32	420,37
420	88,42	387,91
421	77,91	421,01
422	98,16	387,14
423	58,94	302,02
424	93,21	166,56
425	57,81	342,52
427	74,38	279,21
428	328,09	328,09
429	48,85	326,98
430	86,27	311,38
431	88,16	347,86

Área de drenagem	Eq. 35	Eq. 36
97	573,41	573,41
98	61,06	97,34
99	97,37	97,37
122	61,44	104,33
123	47,94	79,48
171	65,96	112,19
172	33,09	114,85
173	78,67	188,12
174	62,85	227,51
175	46,03	161,22
176	31,74	561,49
177	515,88	570,44
178	114,12	166,5
179	40,45	66,75
181	84,34	98,41
183	13,99	41
260	61,77	61,77
262	70,73	100,4
263	68,57	70
264	94,95	333,52
265	44,11	56,92
266	70,16	238,02
328	72,27	179,88
331	48,34	225,5
332	45,68	151,04

Área de drenagem	Eq. 35	Eq. 36
23	459,23	459,23
28	177,29	690,97
29	101,58	579,83
30	199,91	846,87
31	160,8	383,28
32	133,4	387,56
33	151,34	365,41
34	58,56	311,56
35	73,2	513,67
36	100,83	505,78
37	115,39	433,3
38	166,27	321,52
39	27,87	280,36
68	991,47	3469,49
69	178,2	756,34
70	116,36	647,1
71	813,73	813,73
72	148,63	148,63
73	211,75	376,32
74	125,73	634,7
75	97,86	239,48
77	48,85	595,76
78	380,73	380,73
79	600,84	600,84
86	331,49	1200,3

Área de drenagem	Eq. 35	Eq. 36
716	99,45	556
717	38,42	97,1
718	373	373
757	994,38	994,38
769	321,72	321,72
770	225,8	225,8
771	221,06	221,06
772	475,31	475,31
773	264,26	264,26
774	346,73	346,73
775	184,16	184,16
776	206,4	206,4
777	210,56	210,56
778	45,01	164,99
779	614,91	614,91
780	448,99	448,99
781	498,98	498,98
782	198,38	198,38
783	397,57	397,57
784	64,19	98,6
785	71,08	116,47
786	42,99	99,1
787	29,6	91,55
788	41,92	173,82
789	47,18	129,93

Área de drenagem	Eq. 35	Eq. 36
651	41,59	143,35
655	401,5	401,5
658	27,24	153,9
660	41,07	211,6
666	44,82	142
667	162,3	162,3
671	309,5	309,5
672	229,8	229,8
673	368,3	368,3
674	29,98	146,3
678	29,83	73,4
682	347,2	347,2
683	269,4	269,4
684	137,21	637,73
685	342	342
686	18,98	184,3
687	182,4	182,4
688	506,8	506,8
689	51,32	725,6
690	565,7	565,7
691	94,52	536,1
698	35,55	211,8
705	32,01	208,71
706	18,29	200,93
713	29,12	101

Área de drenagem	Eq. 35	Eq. 36
609	65,09	173,58
613	47,12	93,4
614	67,03	94
615	241,9	241,9
616	248,3	248,3
617	283,9	283,9
618	232,2	232,2
619	547,6	547,6
620	222,1	222,1
621	427,5	427,5
622	293,3	293,3
623	143,9	143,9
624	98,72	407
629	34,12	103,6
630	3,79	1334
631	24,73	79,7
635	831,2	831,2
636	157,6	157,6
638	95,92	678,7
639	28,36	107
643	232,6	232,6
644	41,89	130,23
645	418,9	418,9
649	36,83	143,7
650	116,88	343,96

Área de drenagem	Eq. 35	Eq. 36
568	73,1	73,1
569	128,12	236,5
570	45,16	92,6
571	90,71	177,3
572	351,5	351,5
573	84,37	107,31
574	84,03	202,3
575	66,99	217,5
577	715,56	891
578	40,27	100,2
579	36,44	167,7
583	381,39	381,39
585	107,26	288,4
586	97,81	287,3
591	48,98	94,6
592	71,81	100,56
593	233,4	233,4
594	53,67	112,8
595	53,56	113,4
596	52,64	131,9
597	61,54	97,6
598	39,25	184,2
600	96,14	239,85
603	24,52	200,5
608	278,72	278,72

Área de drenagem	Eq. 35	Eq. 36
533	25,21	66
534	26,29	197,8
535	44,98	115,6
537	29,3	44,6
538	46,33	137,8
541	36,15	270,8
542	116,17	425,8
543	52,8	130,6
544	149,3	442,1
545	105,13	225,3
546	101,31	247,2
552	84,45	463,2
553	168,31	557,3
554	110,83	234,11
555	105,92	136,9
556	63,69	230,5
559	12,6	140,66
560	82,78	181,2
561	59,42	138
562	67,8	94,4
563	44,99	70,7
564	40	227,14
565	52,74	161,4
566	47,03	172,1
567	46,21	387,16

Área de drenagem	Eq. 35	Eq. 36
1329	473,29	473,29
1330	143,8	143,8
1331	742,02	742,02
1332	25,16	118,05
1333	68,15	112,77
1334	62,92	114,02
1335	56,16	100
1336	54,11	259,66
1337	46,84	95,95
1338	72,11	72,11
1378	136,62	433
1390	185,7	642,48
1391	106,42	408,75
1392	259,77	259,77
1393	173,51	173,51
1394	608,81	608,81
1396	472,2	472,2
1406	320,95	320,95
1407	115,92	360,5
1408	57,97	232,7
1409	46,05	238
1410	88,17	122,2
1411	44,4	123,6
1412	98,92	102,2
1466	15,19	156,2

Área de drenagem	Eq. 35	Eq. 36
1286	60,31	124,89
1287	29,97	247,85
1288	243,38	243,38
1289	29,02	434,85
1290	89,86	320,49
1291	231,74	231,74
1292	333,99	333,99
1293	553,63	553,63
1294	18,87	97,29
1295	25,58	154,82
1296	305,35	305,35
1297	339,7	339,7
1298	134,27	134,27
1299	103,32	396,84
1300	474,69	474,69
1301	258,1	258,1
1302	43,26	221,49
1321	373,04	373,04
1322	367,43	367,43
1323	787,44	787,44
1324	118,3	118,3
1325	103,91	156,2
1326	73,15	164,12
1327	205,8	574,82
1328	121,5	121,5

Área de drenagem	Eq. 35	Eq. 36
1261	737,97	737,97
1262	572,44	572,44
1263	133,44	473,68
1264	75,75	467,32
1265	124,41	616,5
1266	65,48	707,05
1267	765,21	765,21
1268	144,74	679,5
1269	389,74	389,74
1270	155,92	619,05
1271	22,41	447,77
1272	26,19	133,79
1273	22,84	111,55
1274	41,23	76,28
1275	39,13	107,81
1276	19,28	51,87
1277	27,38	112,34
1278	32,83	71,55
1279	50,4	111,37
1280	35,38	71,68
1281	19,15	97,46
1282	14,01	70,09
1283	50,53	166,88
1284	26,83	131,79
1285	28,92	137,68

Área de drenagem	Eq. 35	Eq. 36
838	50,45	123,58
839	75,62	125,63
840	68,61	129,71
841	24,5	95,3
842	70,2	165,25
843	58,66	163,65
844	97,72	414,45
850	49,37	49,37
853	169,19	711,01
863	288,48	288,48
864	20,43	144,53
1063	204,06	881,8
1064	198,3	1625,82
1065	121,46	671,38
1066	184,36	760,47
1067	273,44	1126,94
1068	229,31	1689,42
1069	247,27	247,27
1070	221,96	571,72
1071	190,03	950,91
1072	120,47	396,09
1073	84,1	337,71
1074	491,4	491,4
1163	169,82	367,36
1260	81,69	376,53

Área de drenagem	Eq. 35	Eq. 36
790	211,12	211,12
791	245,4	245,4
792	56,39	79,7
793	48,81	158,22
794	56,26	98,45
795	160,15	160,15
796	52,62	77,25
797	73,79	227,13
798	72,73	116,84
799	50,69	183,06
800	54,48	60
801	40,87	143,05
802	54	64,7
803	59,54	65
804	177,49	177,49
805	23,49	263,3
806	66,47	97,51
807	218,18	218,18
808	184,16	184,16
810	517,3	517,3
833	91,92	311,15
834	83,39	133,93
835	93,22	807,22
836	62,3	88,41
837	68,18	114,41

Área de drenagem	Eq. 35	Eq. 36
4027	55,97	131,7
4028	56,48	130,9
4029	52,59	136,4
4030	50,71	131,7
4031	53,13	282,3
4032	57,34	270,3
4033	324,48	726,4
5000	63,2	162,6
5001	117,54	167,6
5002	117,44	269,4
5003	80,69	375,5

Área de drenagem	Eq. 35	Eq. 36
4001	48,35	136,5
4002	52,88	126,1
4003	63,88	149,4
4005	55,79	141,6
4006	116,04	319,8
4007	55,56	154,9
4008	53,4	150,7
4009	66,48	133,5
4010	52,48	144,7
4011	31,31	41,7
4012	30,95	68,1
4013	24,05	84,9
4014	19,47	90,3
4015	14,23	75,1
4016	54,06	136,9
4017	14,87	65,4
4018	13,8	52,9
4019	14,72	22,5
4020	27,78	37
4021	18,47	29,4
4022	47,19	96,6
4023	48,07	115,7
4024	48,22	108,2
4025	47,47	110,7
4026	50,34	96,2

Área de drenagem	Eq. 35	Eq. 36
1576	79,49	364,84
1577	2,68	2,68
1578	71,96	265,97
1579	89,59	228,83
1580	104,95	367,92
1581	220,68	527,85
1582	199,53	790,08
1584	358,43	1805,67
1585	75,71	151,11
1586	134,08	338,6
1587	148,93	217,53
1588	95,32	371,75
1589	167,13	361,09
1590	165,93	398,16
1591	122,88	406,65
1592	206,61	546,92
1593	84,61	642,83
1594	128,26	1075,15
1595	157,61	1258,84
1596	287,92	1194,77
1597	223,74	1355,61
1598	183,68	933,67
1599	167,58	1172,54
1600	699,88	1786,01
1601	166,92	425,35

Área de drenagem	Eq. 35	Eq. 36
1470	270,6	270,6
1471	30,15	125
1472	22,38	175,2
1487	70,61	89,57
1508	152,97	152,97
1533	412,48	412,48
1557	150,53	370,69
1558	412,74	412,74
1559	84,35	450,49
1560	128,57	789,63
1561	139,21	1141,42
1562	64,98	343,16
1563	99,21	568,48
1564	1429,33	1429,33
1565	177,25	856,99
1566	70,74	1361,32
1567	81,15	163,9
1568	91,82	92,63
1569	46,24	201,11
1570	98,5	206,09
1571	118,78	465,03
1572	82,1	203,54
1573	93,14	164,87
1574	63,65	168,05
1575	91,52	272,13