



## XII SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE

### ESTIMATIVA DA ALTURA DE ÁGUA PRECIPITÁVEL

*Rosana de Fátima Colaço Gibertoni<sup>1</sup>; Rocianne Bortolazzo Pinto<sup>2</sup>; Martha Regina von Borstel Sugai<sup>3</sup> & Rafael de Carvalho Bueno<sup>4</sup>*

**RESUMO** – A inexistência de séries longas de dados fluviométricos adicionada aos períodos de falhas são itens que potencialmente podem inserir imprecisões nos estudos hidrológicos de bacias hidrográficas das Regiões Norte e Centro-Oeste do Brasil. A preocupação em estabelecer confiáveis projetos de vertedouros para usinas hidrelétricas nestas regiões fica evidente nas inúmeras Resoluções emitidas pela Agência Nacional de Águas. Assim sendo, a metodologia da Cheia Máxima Provável sendo novamente difundida. Entretanto, a escassez de informações de ponto de orvalho e complexidade de representação dos fenômenos meteorológicos dificultam a utilização desta metodologia. Este artigo tem por objetivo avaliar a aplicação das diversas fórmulas explícitas para estimativa da altura de água precipitável na região da bacia hidrográfica do Alto Teles Pires. Dentre as fórmulas utilizadas, destacou-se a desenvolvida por Sugai e Fill (1991), a qual foi obtida primeiramente para locais da Região Sul do Brasil, e que apresentou bons resultados mesmo quando aplicada em bacia hidrográfica da Região Centro-Oeste.

**ABSTRACT**– The lack of long series of fluviometric data added to the time periods of fails are items that can potentially add inaccuracies in the hydrologic studies of watersheds from the North and Midwest regions of Brazil. The concern of establishing trustable spillways projects for hydro power plants in those regions is evident in numerous resolutions issued by the Brazilian national water agency. Therefore, the probable maximum flood methodology has been once again widespread. Meanwhile, the scarcity of dew point information and the complexity to represent the meteorological phenomena difficult the use of this methodology. This article aims to evaluate the application of several explicit formulas to estimate the precipitable water in the Alto Teles Pires watershed region. Among the used formulas, the one developed by Sugai and Fill (1991) stood out, which was obtained first to southern Brazil sites, and showed good results even when applied in Midwest watershed region.

<sup>1</sup> Afiliação: LACTEC/CEHPAR – CP 19.067, CEP 81531-980, Curitiba – PR. Fone: (41) 3361-6282. E-mail: rosana@lactec.org.br

<sup>2</sup> Afiliação: LACTEC/CEHPAR – CP 19.067, CEP 81531-980, Curitiba – PR. Fone: (41) 3361-6282. E-mail: rocianne.bortolazzo@lactec.org.br

<sup>3</sup> Afiliação: COPEL – Rua José Izidoro Biazetto, 158 - Santo Inácio - Curitiba - PR Fone: (41) 3331-4521. E-mail: marthasugai@yahoo.com.br

<sup>4</sup> Afiliação: LACTEC/CEHPAR – CP 19.067, CEP 81531-980, Curitiba – PR. Fone: (41) 3361-6182. E-mail: rafael.bueno@lactec.org.br

**Palavras-Chave** – PMP, Água Precipitável, Fator de Maximização da Umidade.

## 1 – INTRODUÇÃO

A exploração hidroenergética das Regiões Norte e Centro-Oeste do Brasil vem sendo intensificada nos últimos anos. Estas regiões, especialmente a Norte, caracterizam-se pela baixa densidade de monitoramento hidrometeorológico e baixa qualidade das informações obtidas, marcada especialmente pela falta de continuidade da coleta de dados, com muitas falhas, que podem ser de dias ou até mesmo de meses (LACTEC, 2012).

Conforme Santos *et al.* (2001), a área média monitorada por estação fluviométrica das bacias destas regiões são de 5 a 10 vezes maiores do que os valores observados para as regiões Sul e Sudeste. Estas diferenças entre as regiões brasileiras são menores para o monitoramento pluviométrico, exceto para a bacia amazônica, onde, o monitoramento pluviométrico é expressivamente baixo.

A Tabela 1 apresenta alguns valores de cobertura de área por estação baseados em Santos *et al.* (2001) e Cabral (2012), comparativamente à média nacional e a densidade recomendada pela WMO (World Meteorological Organization). Os dados mostram claramente que a densidade das estações nas bacias das Regiões Norte e Nordeste é muito baixa. Para se adaptar às recomendações mínimas da OMM, seria necessário multiplicar muitas vezes o número de estações.

Tabela 1 – Densidades de estações de monitoramento pluviométrico e fluviométrico

Bacia hidrográfica	km <sup>2</sup> /estação fluviométrica	km <sup>2</sup> /estação pluviométrica
Amazonas *	13.000	11.500
Tocantins *	6.980	3.460
São Francisco *	2.180	490
Paraná *	1.310	390
Média no Brasil **	1.903	954
Recomendado pela WMO **	1.000 a 2.500	600 a 900

Fonte: \* SANTOS *et al.* (2001); \*\* Cabral (2012).

A inexistência de séries longas de dados fluviométricos adicionada aos períodos de falhas são itens que potencialmente podem inserir imprecisões nos estudos. Como forma de se contornar este problema, tem se observado para empreendimentos hidrelétricos a serem implantados nas regiões Norte e Centro-Oeste, a aplicação do estudo de Cheia Máxima Provável – CMP. A preocupação em definir cheias de projeto de vertedor (Figura 1) com adequada segurança fica evidente nas inúmeras

Resoluções emitidas pela Agência Nacional de Água – ANA (a título de exemplo, as Resoluções nºs 129/2011, 772/2011 e 84/2012), as quais determinam a necessidade deste tipo de estudo: “... O vertedor deverá ser verificado para a passagem da cheia máxima provável, mantendo uma borda livre em relação à crista da barragem adequada para o porte do empreendimento.”



Fonte: Disponibilizada pela Itaipu.



Fonte: Disponibilizada pela Itaipu.

Figura 1 – Exemplos de cheias excepcionais sobre o vertedouro de usina de Itaipu

Assim sendo, após longo período com poucas aplicações nos estudos básicos relacionados a usinas, a metodologia de PMP vem sendo novamente utilizada para projetos de vertedouros. Entretanto, a escassez de informações de ponto de orvalho e complexidade de representação dos fenômenos meteorológicos imbuem algumas dificuldades na utilização desta metodologia, especialmente no que se refere à obtenção da altura de água precipitável (conceito inerente ao método da PMP calculada através dos métodos hidrometeorológicos).

A altura de água precipitável é obtida através da integração numérica da massa de vapor de água numa coluna de ar. Como pode ser visto no item 3, este cálculo demanda uma série de passos trabalhosos, dificultando o processo de obtenção da PMP. Existem diversas outras formas de estimar este valor. Este artigo objetiva analisar a utilização, em locais da região Centro-Oeste, de diversas fórmulas explícitas para altura de água precipitável, entre elas, a desenvolvida por Sugai e Fill (1991) obtida para locais da Região Sul, comparando os valores obtidos com os resultados da integração numérica da massa de vapor de água numa coluna de ar.

## 2 – PRECIPITAÇÃO MÁXIMA PROVÁVEL

A definição da Organização Meteorológica Mundial (World Meteorological Organization) da PMP é (WMO, 1973) “... maior altura de precipitação para uma dada duração meteorologicamente possível, para uma determinada bacia, numa certa época do ano”. Como não há suficiente conhecimento dos processos atmosféricos para avaliação precisa da máxima altura precipitável possível, pode-se estimar este valor, daí o termo provável em PMP. Já a CMP pode ser entendida como a máxima vazão possível em um determinado local, cujo valor é obtido através da

aplicação da PMP em modelo chuva-vazão.

Segundo Sugai (1989), não se dispõe a princípio, de um procedimento padrão para estimar PMP aplicável a toda e qualquer bacia. Casos de estudo podem ser utilizados na orientação dos procedimentos a adotar, considerando-se os efeitos da topografia, e das variações regionais e sazonais. Os vários métodos de avaliação da PMP podem ser classificados em duas categorias básicas:

- métodos hidrometeorológicos, onde a PMP é obtida a partir de processos de maximização do teor de umidade da massa de ar causadora da precipitação;
- métodos estatísticos, que estimam a PMP a partir da maximização do chamado fator de recorrência  $K_r = (PMP - \bar{P}) / s$ , onde  $\bar{P}$  = média das máximas e  $s$  = desvio padrão de máximas, por um processo semelhante ao método estação-ano (Clarke-Hafstad, 1942 *apud* Sugai, 1989).

Antes de iniciar um estudo de estimativa de PMP por um método hidrometeorológico é necessário verificar se a área do estudo ou regiões vizinhas estão sujeitas a chuvas orográficas ou não. De acordo com WMO (1973), em regiões não orográficas raramente é utilizada a maximização do fator vento. A umidade é o parâmetro básico para fins de maximização. É a umidade que permite comparar a chuva observada com a que poderia ocorrer se a situação atmosférica fosse mais crítica.

De forma sucinta, a determinação da PMP consiste em estimar o fator de maximização da umidade, cujo valor é utilizado para multiplicar os valores observados da chuva intensa (LACTEC, 2000). O fator de maximização da umidade é definido pela relação entre a altura de água precipitável nas condições mais críticas para aquela época do ano e a altura de água precipitável nas condições em que foi observada a precipitação que se quer maximizar.

Segundo Sugai e Fill (1991), para estimar o fator de maximização em regiões não orográficas, basicamente, são necessários os seguintes passos:

- seleção das maiores chuvas intensas observadas na região ou em locais climaticamente similares;
- obtenção da umidade representativa tanto das maiores chuvas como da máxima umidade para as diferentes épocas do ano;
- cálculo dos fatores de maximização e das chuvas maximizadas.

Na maioria dos métodos consagrados pela prática, a umidade representativa é determinada a partir dos correspondentes pontos de orvalho representativos. O conhecimento dos fenômenos meteorológicos e o mecanismo das tormentas geradoras das chuvas extremas sobre a bacia são de fundamental importância na seleção do modelo e dos procedimentos a serem utilizados (Sugai,

1989). Os métodos hidrometeorológicos são os procedimentos mais tradicionais para a determinação da precipitação máxima provável.

O fator de maximização da umidade é definido, assim simplesmente pela relação entre a altura de água precipitável nas condições mais críticas para aquela época do ano ( $WM$ ) e a altura de água precipitável nas condições em que foi observada a precipitação que se quer maximizar ( $WC$ ):

$$f = \frac{WM}{WC} \quad (1)$$

As chuvas maximizadas são obtidas simplesmente pelo produto do fator de maximização calculado pela equação (1) e da precipitação que se está ajustando.

### 3 - CÁLCULO DA ALTURA DE ÁGUA PRECIPITÁVEL

A máxima quantidade de vapor de água por unidade de área entre a superfície e a tropopausa, que pode ser condensada numa determinada condição atmosférica, expressa pela altura de uma camada uniforme de chuva, é denominada altura de água precipitável.

Evidentemente a altura de água precipitável dependerá da variação da temperatura, da pressão e da umidade ao longo da vertical. A maneira mais precisa de se determinar a distribuição vertical dessas grandezas (temperatura, umidade e pressão) é a partir de medições com radiossondas. Entretanto, a disponibilidade de radiossondagens, principalmente no Brasil, é bastante precária. Essas coletas são efetuadas esporadicamente em um número reduzido de estações. Por isso, em geral se admite uma lei teórica para a variação daquelas propriedades na vertical, permitindo obter a altura de água precipitável em função de dados meteorológicos apenas de superfície.

A maioria dos métodos disponíveis para o cálculo da altura da água precipitável utiliza somente a pressão e o ponto de orvalho na superfície terrestre. Uma das limitações desses métodos é que eles não levam em conta o caráter dinâmico da atmosfera (Sugai, 1989). A integração numérica da massa de vapor de água numa coluna de ar para a obtenção da altura de água precipitável pode ser obtida através da equação:

$$w_p = \frac{1}{g} \int_{p_t}^{p_0} r \cdot dp \quad (2)$$

A definição da razão de mistura  $r$ , também chamada de taxa de umidade do ar atmosférico, é apresentada como a relação entre a massa de vapor de água e a massa de ar seco, resultando:

$$r = 0,622 \frac{e}{p - e} \quad (3)$$

Onde  $p$  é a pressão à determinada altura, e  $e$  corresponde a pressão parcial de vapor.

A determinação da pressão parcial do vapor de água no ar atmosférico é efetuada normalmente a partir das temperaturas do termômetro de bulbo seco –  $T$ , que é a temperatura do ar, e do termômetro de bulbo úmido –  $Th$ , com a expressão:

$$e = e^*(Th) + \frac{A \cdot p}{100} (Th - T) \quad (4)$$

Onde  $e^*(Th)$  = tensão de saturação para temperatura  $Th$ ;  $A = 0,79$  ou  $0,66$ , respectivamente, se as temperaturas forem obtidas com psicrômetro de ventilação natural ou forçada.

Uma das fórmulas para o cálculo da pressão parcial nas condições de saturação sobre a água em estado líquido é a de Richards (ELETROBRÁS, 1987):

$$e^*(T) = 101.325 \exp(13,3185t_R - 1,9760t_R^2 - 0,6445t_R^3 - 0,1299t_R^4) \quad (5)$$

Onde:

$$t_R = 1 - \frac{373,15}{T} \quad (6)$$

Com  $T$  = temperatura, em °K; e  $e^*$  = tensão de saturação, em PA.

A integração numérica da equação (2) é possível desde que se conheça a variação da temperatura do ar e da pressão com a altitude, que pode ser obtida a partir das equações básicas da termodinâmica da atmosfera. No caso de uma atmosfera saturada e um processo de ascensão pseudo-adiabático resulta entre os níveis “a” e “b” (ELETROBRÁS, 1987):

$$Cps \cdot \ln \frac{Tb}{Ta} - Rs \cdot \ln \frac{pb}{pa} + \left[ \frac{Lb \cdot r^*b}{Tb} - \frac{La \cdot r^*a}{Ta} \right] = 0 \quad (7)$$

Onde  $Cps$  é o calor específico à pressão constante igual a  $1005 \text{ J/Kg} \cdot \text{°k}$ ;  $Ta$  e  $Tb$  são a temperatura do ar em “a” e “b”, em °K;  $pa$  e  $pb$  são a pressão em “a” e “b”;  $r^*a$  e  $r^*b$  são a razão de mistura de saturação em “a” e “b”; e  $La$  e  $Lb$  são o calor latente de evaporação em “a” e “b”, em J/Kg, calculado por (Linsley *et al.*, 1949):

$$L = 3.145.780 - 2.361 T \quad (8)$$

Onde  $T$  é a temperatura em °K.

Discretizando o domínio da pressão desde  $p = p_0$  até  $p = p_t$  em  $n$  intervalos iguais, a equação (7) pode ser resolvida por métodos numéricos, considerando os níveis limítrofes de cada intervalo, onde  $p_0$  pode ser considerada a pressão ao nível da superfície terrestre e  $p_t$  a pressão no início da tropopausa.

#### 4 - FUNÇÃO EXPLÍCITA PARA DETERMINAR A ALTURA DE ÁGUA PRECIPITÁVEL

Devido ao trabalhoso processo na obtenção da altura de água precipitável através da integração numérica, diversos autores tem proposto a utilização de gráficos ou tabelas em função do ponto de orvalho na superfície, tais como, Pinto *et al.* (1976), WMO (1973) e ELETROBRÁS (1987). Outra forma de obtenção deste valor é através de fórmulas explícitas sugeridas por diversos pesquisadores, tais como: Reitan (1963), Bolsenga (1965), Lowry e Glahn (1969), entre outras. Normalmente, estas fórmulas são relações explícitas simples entre a temperatura do ponto de orvalho ( $T_o$ ) e a altura de água precipitável ( $w_p$ ) do tipo:

$$\ln w_p = a + b.T_o \quad (9)$$

O trabalho proposto em Sugai e Fill (1991) verificou a aplicação da tabela apresentada em ELETROBRÁS (1987) e de diversas fórmulas a 11 estações da região Sul do Brasil. Outro objetivo foi ajustar uma relação explícita tal como expressa por (9), obtida através da integração numérica aplicada a 45 locais.

A Tabela 2 apresenta os coeficientes  $a$  e  $b$  determinados para diversas funções explícitas e os respectivos coeficientes de correlação.

Tabela 2 – Funções explícitas para determinação da altura de água precipitável

Referência da função	Coefficiente $a$	Coefficiente $b$	Coefficiente de correlação
Sugai e Fill (1991)	-0,155	0,0895	0,99997
Reitan (1963)	0,110	0,0614	0,98
Bolsenga (1965)	0,117	0,0769	0,85
Lowry e Glahn (1969)	-0,917	0,0576	0,834

Fonte: \* Sugai e Fill (1991).

#### 5 - DADOS E RESULTADOS

O objetivo deste trabalho foi avaliar a aplicação das funções explícitas apresentadas na Tabela 2, para determinação direta da altura de água precipitável para estações da região Centro-Oeste. A análise foi realizada considerando a aplicação da PMP sobre a chuva média na sub-bacia da região do Alto Teles Pires, delimitada pela estação fluviométrica Cachoeirão (Figura 2).

Foram utilizados os dados da estação meteorológica Gleba Celeste (Figura 2), disponibilizados pelo Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos – CPTEC (período entre 1996 e 2011). A Tabela 3 e Figura 2 apresentam as estações pluviométricas utilizadas no estudo.

Tabela 3 - Postos pluviométricos utilizados no estudo

Código	Nome	Latitude (°)	Longitude (°)	Altitude (m)	Período de dados
01154001	Santa Felicidade	-11,93	-55,00	--	1982-2011
01154002	Fazenda Rio Negro	-11,52	-54,36	--	1999-2011
01155000	Cachoeirão	-11,65	-55,70	317	1975-2011
01156001	Sinop (Faz. Sempre Verde)	-11,69	-56,45	358	1983-2011
01255001	Teles Pires	-12,68	-55,79	321	1976-2011
01255002	Núcleo Colonial Rio Ferro	-12,52	-54,91	--	1976-2011
01256002	Fazenda Divisão	-12,98	-56,18	--	1999-2011
01355001	Porto Roncador	-13,56	-55,33	--	1985-2010
01356002	Nova Mutum	-13,82	-56,12	471	1985-2011
01453000	Passagem da BR-309	-14,61	-54,00	--	1976-2011
01454000	Paranatinga	-14,42	-54,05	--	1973-2011
01455009	Fazenda Rio Novo	-14,22	-55,51	422	2000-2010

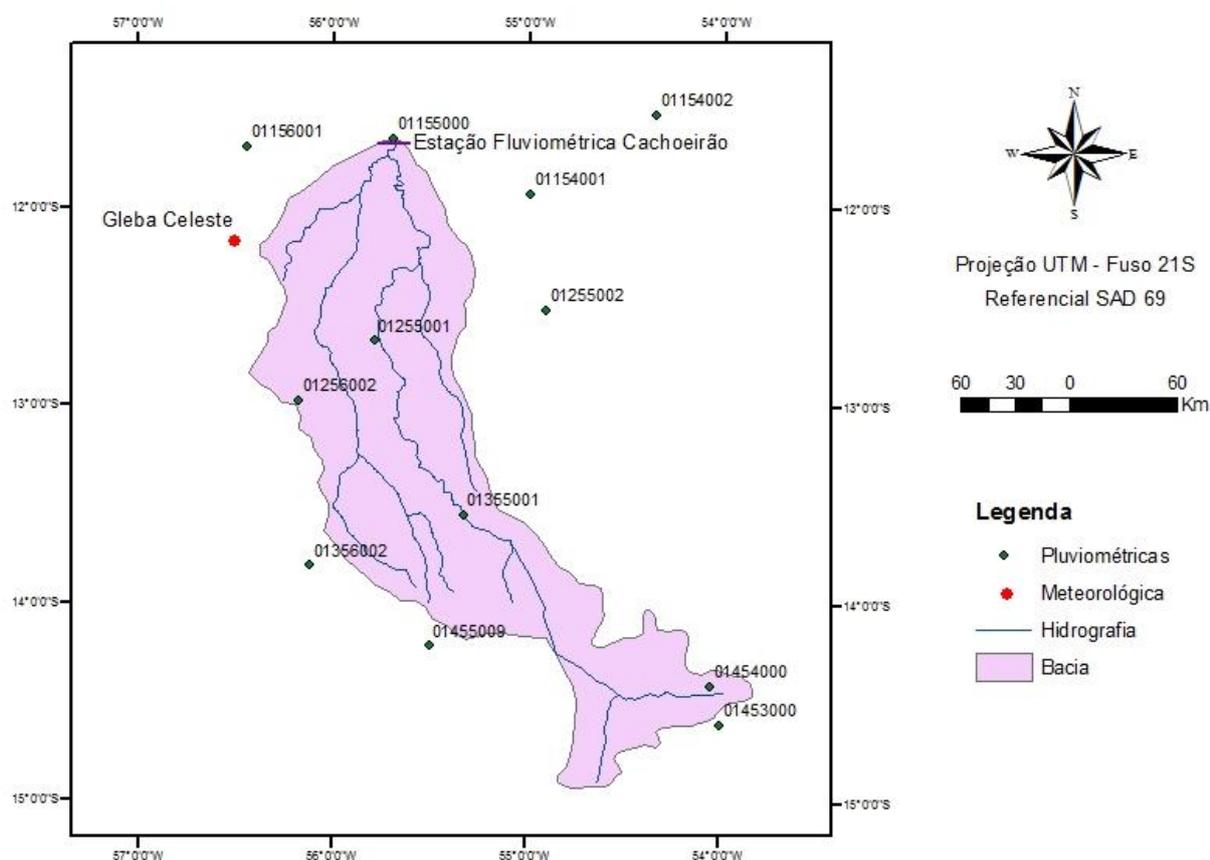


Figura 2 – Bacia hidrográfica do Alto Teles Pires com estações *plu* e *met* utilizadas no estudo

A Tabela 4 apresenta os fatores de maximização obtidos com o auxílio das diversas funções e as diferenças percentuais em relação à integração numérica, sendo este último método o que fornece os valores mais precisos.

Tabela 4 – Fatores de maximização obtidos com auxílio de funções explícitas e integração numérica para  $w_p$

Duração	$W_p$ Integração	Sugai e Fill		Reitan		Bolsegna		Lowry e Glahn	
		$W_p$	Difer. (%)	$W_p$	Difer. (%)	$W_p$	Difer. (%)	$W_p$	Difer. (%)
10 dias	1,2977	1,3080	0,79	1,2023	-7,35	1,2595	-2,94	1,1886	-8,41
	2,1457	2,1766	1,44	1,7050	-20,54	1,9508	-9,08	1,8230	-15,04
	1,2598	1,2688	0,71	1,1774	-6,54	1,2270	-2,60	1,2018	-4,60
	1,3195	1,3304	0,83	1,2164	-7,81	1,2780	-3,15	1,2466	-5,52
	1,2697	1,2791	0,74	1,1839	-6,76	1,2355	-2,69	1,2093	-4,76
	1,3726	1,3851	0,91	1,2504	-8,90	1,3230	-3,61	1,2860	-6,31
20 dias	1,3798	1,3926	0,93	1,2551	-9,04	1,3291	-3,67	1,2913	-6,41
	1,3114	1,3221	0,82	1,2111	-7,65	1,2712	-3,07	1,2406	-5,40
	1,3858	1,3988	0,94	1,2589	-9,16	1,3343	-3,72	1,2958	-6,49
	1,2510	1,2597	0,70	1,1716	-6,35	1,2195	-2,52	1,1952	-4,46
	1,3346	1,3460	0,85	1,2261	-8,13	1,2909	-3,27	1,2579	-5,75
	1,3126	1,3233	0,82	1,2119	-7,67	1,2721	-3,09	1,2415	-5,42
30 dias	1,2315	1,2396	0,66	1,1588	-5,90	1,2027	-2,34	1,1804	-4,15
	1,3702	1,3826	0,91	1,2489	-8,85	1,3210	-3,59	1,2842	-6,28
	1,3570	1,3691	0,89	1,2405	-8,59	1,3099	-3,47	1,2745	-6,08
	1,3570	1,3691	0,89	1,2405	-8,59	1,3099	-3,47	1,2745	-6,08
	1,3762	1,3888	0,92	1,2527	-8,97	1,3261	-3,64	1,2887	-6,36
	1,3487	1,3605	0,87	1,2352	-8,42	1,3028	-3,40	1,2683	-5,96
40 dias	1,3690	1,3814	0,91	1,2481	-8,83	1,3200	-3,58	1,2833	-6,26
	1,3358	1,3472	0,85	1,2269	-8,15	1,2919	-3,29	1,2587	-5,77

## 6 - CONCLUSÕES

Os resultados deste trabalho mostram que a relação explícita definida por Sugai e Fill (1991) para estações da região Sul do Brasil, expressa pela Equação (9), aplica-se bem às estações analisadas neste estudo que são da região Centro-Oeste, apresentando valores em média 0,9% superiores aos obtidos por integração e sempre superiores a estes. Já para a região estudada por Sugai e Fill (1991), as diferenças dos resultados da fórmula ajustada pelos autores em relação aos valores obtidos com a integração numérica foram, ora positivas, ora negativas, e sempre inferiores a 1,5%.

Por outro lado, os resultados obtidos pelas outras funções explícitas foram sempre inferiores ao da integração. Isto é válido tanto para a área da região Centro-Oeste aqui analisada, com variação entre 2,3 e 20,5%, como para a área considerada por Sugai e Fill (1991), região Sul do Brasil, cuja variação ficou entre 5,0 e 29,4%.

Assim sendo, observa-se que independentemente da base de dados utilizada para a obtenção da função definida por Sugai e Fill (1991), a mesma é aplicável para locais da região Centro-Oeste, os quais possuem características distintas em relação aos da região Sul. Além disto, os resultados da

aplicação desta função se mostraram com qualidade bastante superior aos obtidos com a aplicação das outras três funções testadas. A vantagem de se utilizar a equação proposta por Sugai e Fill (1991) em relação à integração numérica é a facilidade e rapidez com que se pode calcular as chuvas maximizadas, agilizando o processo de obtenção da PMP. Pretende-se em futuras pesquisas testar a aplicação da relação explícita definida por Sugai e Fill (1991) em outras regiões do Brasil.

## BIBLIOGRAFIA

BOLSENGA, S. J. (1965). “*The relationship between total atmospheric water vapor and surface dew point on a mean daily and hourly basis*”. *Journal of Applied Meteorology*, v. 4, p. 430-432.

CABRAL, J. B. P. (2012). “*Sistema de informação geográfica aplicado ao estudo de bacias hidrográficas*”. Acessado pela internet em jun/2012.

ELETROBRAS (1987). *Guia para cálculo de cheia de projeto de vertedouros*. Rio de Janeiro: Eletrobrás.

LACTEC – INSTITUTO DE TECNOLOGIA PARA O DESENVOLVIMENTO (2000). “*Revisão das vazões máximas do rio Iguaçu nos locais das usinas de Salto Santiago e Salto Osório*”. Relatório Técnico. Curitiba.

LACTEC – INSTITUTO DE TECNOLOGIA PARA O DESENVOLVIMENTO (2012). “*Estudos de revisão, consistência e extensão de séries hidrológicas no rio Teles Pires*”. Relatório Técnico. Curitiba.

LOWRY, D. A.; GLAHN, H. R. (1969). “*Relationships between integrated atmospheric moisture and surface weather*”. *Journal of Applied Meteorology*, v. 8, p. 762-768.

PINTO, N. L. S.; HOLTZ, A. C. T.; MARTINS, J. A.; GOMIDE, F. L. S. G. (1976). *Hidrologia básica*. Edgard Blücher, São Paulo.

REITAN, C. H. (1963). “*Surface dew point and water vapor aloft*”. *Journal of Applied Meteorology*, v. 2, p. 776-779.

SANTOS, I.; FILL, H. D. O. A.; SUGAI, M. R. von B.; BUBA, H.; KISHI, R. T.; MARONE, E. & LAUTERT, L. F. (2001). *Hidrometria aplicada*. LACTEC, Curitiba.

SUGAI, M. R. von B. (1989). *Tempo de recorrência associado à precipitação máxima provável na região Sul do Brasil*. 155 p. Dissertação (Mestrado). Curitiba: UFPR, CEHPAR.

SUGAI, M. R. von B.; FILL, H. D. O. A. (1991). “*Uma fórmula para a altura de água precipitável e sua utilização na estimativa de PMP*”. *RBE – Revista Brasileira de Engenharia* – Vol 9/Nº2, p 71-86.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION - WMO (1973). *Manual for estimation of probable maximum precipitation*. Geneve, 1973. 190p (Operational Hydrology Report, 1).