AVALIAÇÃO DO USO DE SÉRIES PARCIAIS PARA A ESTIMATIVA DE INTENSIDADES MÁXIMAS E PERÍODOS DE RETORNO

Francisco Rossarolla Forgiarini[1] *& André Luiz Lopes da Silveira*[2]

RESUMO --- Neste trabalho admite-se que o uso de séries parciais para determinação da relação intensidade-duração-frequência (i-d-f) e o cálculo de tempos de retorno (Trs) de eventos observados aproxima os resultados calculados à realidade. Assim, o objetivo é comparar o uso de curvas i-d-f construídas a partir de séries parciais e séries anuais para a determinação de intensidades máximas (imáxs) e Trs. Foram construídas as respectivas curvas utilizando vinte e três anos de dados do posto pertencente ao 8° Distrito do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), que se localiza em Porto Alegre, Rio Grande do Sul. Os resultados obtidos foram comparados com o estudo de Bemfica *et al.* (2000). Observou-se que para Trs menores as séries anuais tendem a subestimar as imáxs para as menores durações (até 30 minutos) e superestimar para as maiores durações. À medida que aumenta os Trs observa-se que as séries anuais tendem a superestimar as imáxs para qualquer duração da chuva. Conclui-se que o uso de séries parciais tende a gerar resultados mais precisos, pois as curvas i-d-f anuais representam uma combinação de valores obtidos de diferentes tormentas que dificilmente se repetirão em um único evento observado.

ABSTRACT --- In this paper accept that the use of partial series for determination of the intensity-duration-frequency (IDF) and the calculation of time of return (TRS) of events observed near the calculated results to reality. The objective is to compare the use of IDF curves constructed from partial and annual series for the determination of maximum intensities (IMAXS) and TRS. This curves were constructed using twenty-three years of data from the 8th District of the National Institute of Meteorology (INMET), which is located in Porto Alegre, Rio Grande do Sul. The results were compared with the study of Bemfica *et al.* (2000). It was observed that for the minor TRS annual series tend to underestimate the IMAXS for smaller durations (until 30 minutes) and overestimate for larger durations. As increases the TRS notes that the series tend to overestimate the annual IMAXS for any length of rain. Was concluded that the use of partial series tends to generate more accurate results, because the annual IDF curves represent a combination of values difficult to be repeated.

Palavras-chave: séries parciais, intensidade máxima, período de retorno.

1) Msc. Eng. Civil, Doutorando IPH/UFRGS, Bolsista do CNPq – Brasil. Rua Anita Garibaldi, 372/403, 90450-000, Porto Alegre/RS. E-mail **francisco_forgiarini@yahoo.com.br**
2) Professor da UFRGS, IPH, Av. Bento Gonçalves, 9500, 91501-970, Porto Alegre/RS - Brasil. E-mail **andre@iph.ufrgs.br**

1 - INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, os municípios brasileiros apresentaram um processo acelerado e não planejado de urbanização. Este processo se caracterizou pela remoção da cobertura vegetal original, o aumento da impermeabilização, a canalização e a ocupação das planícies ribeirinhas, que, de forma geral, tende a agravar as cheias naturais. As inundações provocadas pela urbanização promovem prejuízos econômicos e a queda da qualidade de vida da população.

De acordo com Cruz *et al*. (2007), estes impactos são ampliados devido também aos projetos concebidos e executados para resolvê-los, pois impera, ainda hoje, entre projetistas, a idéia de que o melhor é conduzir a água gerada para longe o mais rápido possível, aumentando a capacidade condutora do sistema. Estes projetos são dimensionados para uma intensidade de precipitação associada a um risco.

O risco adotado para um projeto define a relação entre os investimentos envolvidos para reduzir a freqüência das inundações e os prejuízos aceitos (Tucci, 1993). Ao se adotar um risco de 10% anualmente, ou tempo de retorno de 10 anos, se aceita que em média poderão ocorrer eventos uma vez a cada 10 anos que produzirão prejuízos.

A prática comum na engenharia hidrológica para a determinação da chuva de projeto e dos tempos de retorno de eventos observados é o uso das relações i-d-f (intensidade-duração-freqüência). Entretanto, seu uso pode apresentar erros, não correspondendo à realidade, pois as curvas i-d-f normalmente são determinadas para uma combinação de valores máximos anuais obtidos de diferentes tormentas para durações específicas que dificilmente se repetirão em um único evento observado (Bemfica *et al*., 2000).

Bemfica *et al*. (2000) analisaram o uso de curvas i-d-f para estimativa de vazões e comparam com vazões reais. Neste estudo os autores observaram que para as menores durações, foi verificada uma tendência a subestimação das vazões geradas pelas chuvas de projeto e para durações mais longas, uma superestimação. Ou seja, para durações menores a aplicação prática vai contra a segurança e para durações maiores gera projetos menos econômicos.

Chow (1964) argumenta que a seleção de dados hidrológicos no projeto de uma estrutura deve ser julgada pelo tipo de estrutura ou projeto. O autor enfatiza que as séries de duração parcial devem ser usadas se, além dos valores máximos anuais, mais valores no ano afetam o projeto. Por exemplo, em hidrologia urbana, a repetição de inundações é um aspecto importante a ser considerado na avaliação econômica de prejuízos. Assim, o uso de séries parciais é o mais indicado, pois utiliza mais de um valor ao ano.

Neste trabalho admite-se a hipótese de que o uso de séries parciais para determinação da relação i-d-f para o cálculo do tempo de retorno de eventos observados aproxima os resultados

calculados à realidade. Assim, o objetivo é comparar o uso de curvas i-d-f construídas a partir de séries parciais e séries anuais para a determinação de intensidades máximas e tempos de retorno. Para tanto, os resultados encontrados serão comparados com o estudo de Bemfica *et al*. (2000).

2 – CURVA I-D-F COM SÉRIES PARCIAIS

Na engenharia hidrológica, para fins de projetos de estruturas hidráulicas com objetivo de esgotamento de águas pluviais, é necessário o estabelecimento de uma equação de chuva baseada na análise de freqüência das chuvas intensas da localidade. Diversos autores se perguntam (por exemplo, Wilken, 1978 e Madsen *et al*., 1997): que tipo de série, parcial ou anual, deve ser escolhida para esta análise de freqüência?

Tucci (1993) enfatiza que a objeção ao uso das séries de máximas anuais é que a análise utiliza unicamente um valor em cada ano. Assim, não é raro ter o segundo valor da série em ordem de grandeza em um dado ano excluído e com intensidade de precipitação mais elevada que outros valores anuais incluídos na série de máximos anuais.

Wilken (1978) discute que existe uma distinção importante entre os significados dos períodos de retorno das séries anuais e das séries de duração parcial. Nas séries anuais o período de retorno Tra é o intervalo médio no qual uma chuva intensa de dada intensidade tornará a ocorrer como um máximo anual. Nas séries de duração parcial, o período de retorno Trp é o intervalo médio entre intensidades de chuva de dado valor sem considerar a relação com o ano ou qualquer outro período de tempo em que ocorreram. Ou seja, Tra é o intervalo médio de anos para uma determinada precipitação ser a máxima anual e Trp o intervalo médio de anos para uma determinada precipitação ocorrer.

Wilken (1978) diz que para mais de 3 anos, Tra é maior que Trp em 0,5 anos, para menos de 3 anos esta diferença é maior. Ao superestimar o Tr admite-se que uma determinada precipitação é menos freqüente do que realmente ela é, assim, a estrutura de drenagem é dimensionada para uma resposta em forma de vazão de uma precipitação inferior ao que deveria ser, aumentando-se a freqüência dos alagamentos.

Um exemplo hipotético é apresentado a seguir: Tra = 2,00 anos e Trp = 1,44 anos. Ao usar Tra para a precipitação obtém-se 15 mm/h, mas na verdade para este valor de intensidade o Tr é menor, e a precipitação de Tr = 2 anos é superior, por exemplo, na ordem de 18 mm/h. Assim, a estrutura foi dimensionada para 15 mm/h, mas deveria ter sido dimensionada para 18 mm/h.

Tucci (1993) argumenta que para fins práticos, as séries de duração parcial e as séries anuais não diferem muito, exceto nos valores de baixa grandeza do período de retorno. Ou seja, esta distinção tende a ser importante para dimensionamento de obras de microdrenagem, que normalmente utilizam tempos de retorno de Tr de 2, 5 ou 10 anos no seu dimensionamento.

De acordo com Damé (2001), em linhas gerais, a opção por utilizar a série parcial ocorre quando o número de anos de dados é pequeno (menor que 10 anos) e quando os tempos de retorno a serem utilizados são inferiores a 5 anos. Madsen *et al*. (1997) empregaram séries de duração parcial na análise de precipitação extremas na Dinamarca e concluíram que o procedimento é adequado para períodos de retorno menor que 10 anos. Tucci (1993) relata que as séries parciais devem incluir em média 3 a 4 ocorrências de valores extremos por ano.

NERC (1975) apresenta uma metodologia para a determinação de uma vazão anual média associada a um tempo de retorno que pode ser empregada para a precipitação. A metodologia é sugerida para uma quantidade de dados limitada (3 a 10 anos), o procedimento é o seguinte:

1- Escolher um valor mínimo P0, excedido em média 3 a 5 vezes ao ano;

2 - Identificar todos os picos acima desse valor que sejam independentes entre si. Listar as magnitudes Pi de todos os M picos identificados em N anos de registro;

3 - Assumir que o número de exigências por ano possam ser tratadas como uma variável de Poisson cujo parâmetro λ é dado por:

$$\lambda = M/N \tag{1}$$

e cuja magnitude pode ser considerada uma distribuição exponencial cujo parâmetro β é dado por:

$$\hat{\beta} = \bar{P} - Po = \sum_{i=1}^{M} (Pi - Po)/M \tag{2}$$

4 - Pt (a Precipitação de período de retorno T anos) pode agora ser estimada por:

$$Pt = Po + \hat{\beta} \ln \lambda + \hat{\beta} \ln T \tag{3}$$

e

$$\bar{P} = Po + \hat{\beta} \ln \lambda + 0.5772 \hat{\beta} \tag{4}.$$

3 – METODOLOGIA

Para atingir o objetivo de comparar o uso de curvas i-d-f construídas a partir de séries parciais e séries anuais na determinação de intensidades máximas e tempos de retorno foram construídas as respectivas curvas utilizando vinte e três anos de dados (1975 a 1997) do posto pertencente ao 8° Distrito do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). O posto possui um pluviógrafo com discretização máxima de 5 minutos que se localiza em uma zona urbana do município de Porto Alegre, Rio Grande do Sul.

Para a série anual, foram construídas 13 séries de intensidades máximas anuais, sendo uma série para cada duração (5, 10, 15, 20, 25, 30, 45, 60, 90, 120, 180, 240 e 300 minutos). Em cada uma dessas séries, foi feita a análise de freqüência dos valores de intensidades máximas, utilizando-se a distribuição de Gumbel para o cálculo da posição de plotagem. Para a série parcial, foi utilizada a metodologia de NERC (1975) apresentada no item anterior, utilizando 4 valores em média ao ano.

As intensidades para cada duração foram calculadas para os tempos de retorno de 2, 5, 10, 15, 20, 25, 50, 75 e 100 anos utilizando as análises de freqüências para a série anual e a metodologia de NERC (1975) para a série parcial. Estes valores possibilitam a determinação de um feixe de curvas i-d-f, ao qual foi ajustada a equação matemática do tipo:

$$i = \frac{a * Tr^{b}}{(td + c)^{d}} \tag{5}$$

Sendo:

i = intensidade máxima, em mm/h;

Tr = tempo de retorno, em anos;

td = duração da chuva, em minutos;

a, b, c, d = parâmetros a serem ajustados.

Os resultados obtidos foram comparados com o estudo de Bemfica *et al*. (2000). Neste estudo, os autores, a partir da determinação de uma curva i-d-f do tipo da Equação 5 para série anual no posto do 8° Distrito do INMET, analisaram a utilização de diferentes metodologias para a determinação da chuva de projeto com objetivo final de comparar as vazões geradas com a vazão observada em bacias hidrográficas hipotéticas. Mesmo sabendo que a relação entre as variáveis de entrada (precipitação) e saída (vazão) dos sistemas hidrológicos apresentam um comportamento não-linear (Tucci, 1993), será admitido que a comparação realizada por Bemfica *et al*. (2000) servirá para validar os resultados obtidos no presente trabalho.

4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

As curvas i-d-f estabelecidas foram as seguintes:

$$i = \frac{1665{,}63\,Tr^{0{,}14}}{(td + 11{,}65)^{0{,}90}} \tag{6}$$

$$i = \frac{1902{,}56\,Tr^{0{,}17}}{(td + 15{,}29)^{0{,}92}} \tag{7}$$

A Equação 6 foi o ajuste da equação matemática para a série parcial obtida pela metodologia de NERC (1975) e a Equação 7 para a série anual. A Equação 8 a seguir apresenta o ajuste obtido por Bemfica *et al*. (2000) para o mesmo posto utilizando uma série anual, mas dados de anos diferentes (1974 a 1998). Mesmo a equação apresentando parâmetros ajustados diferentes, os resultados foram semelhantes para a curva i-d-f ajustada a série anual no presente trabalho e a curva i-d-f ajustada por Bemfica *et al*. (2000), conforme se observa nas Figuras 1 e 2 a seguir.

$$i = \frac{1297{,}9 Tr^{0{,}171}}{\left(td + 11{,}619\right)^{0{,}85}} \tag{8}$$

Analisando as Figuras 1 e 2 observa-se que para tempos de retorno menores (5 anos, por exemplo) as séries anuais tendem a subestimar as intensidades máximas para as menores durações (até 30 minutos) e superestimar para as maiores durações. À medida que aumenta os períodos de retorno (100 anos, por exemplo) observa-se que as séries anuais tendem a superestimar para qualquer duração da chuva. Estes resultados corroboram as conclusões estabelecidas por Bemfica *et al*. (2000) que identificaram subestimação das vazões geradas para as menores durações e superestimação para as maiores durações, além de identificar que estas diferenças aumentavam com maiores tempos de retorno.

A provável explicação para estes resultados é apresentada na Figura 3. Nela se observa que para as menores durações a diferença de precipitação obtida pela Equação 8 (Bemfica *et al*., 2000) e a precipitação estabelecida pela Equação 6 (NERC, 1975) é negativa e, para as maiores durações, a diferença é positiva, aumentando com maiores tempos de retorno. As Figuras 4 e 5 também apresentam estes resultados.

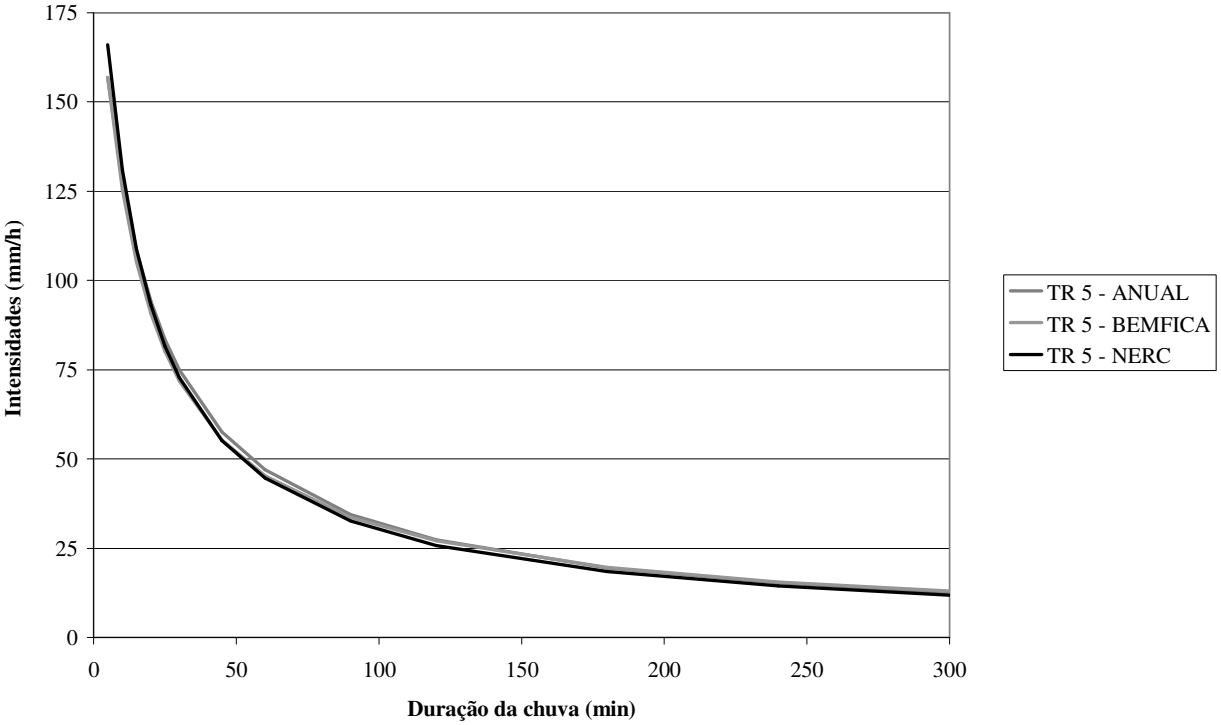

Figura 1. Comparação das curvas i-d-f obtidas pelas diferentes metodologias para Tr = 5 anos.

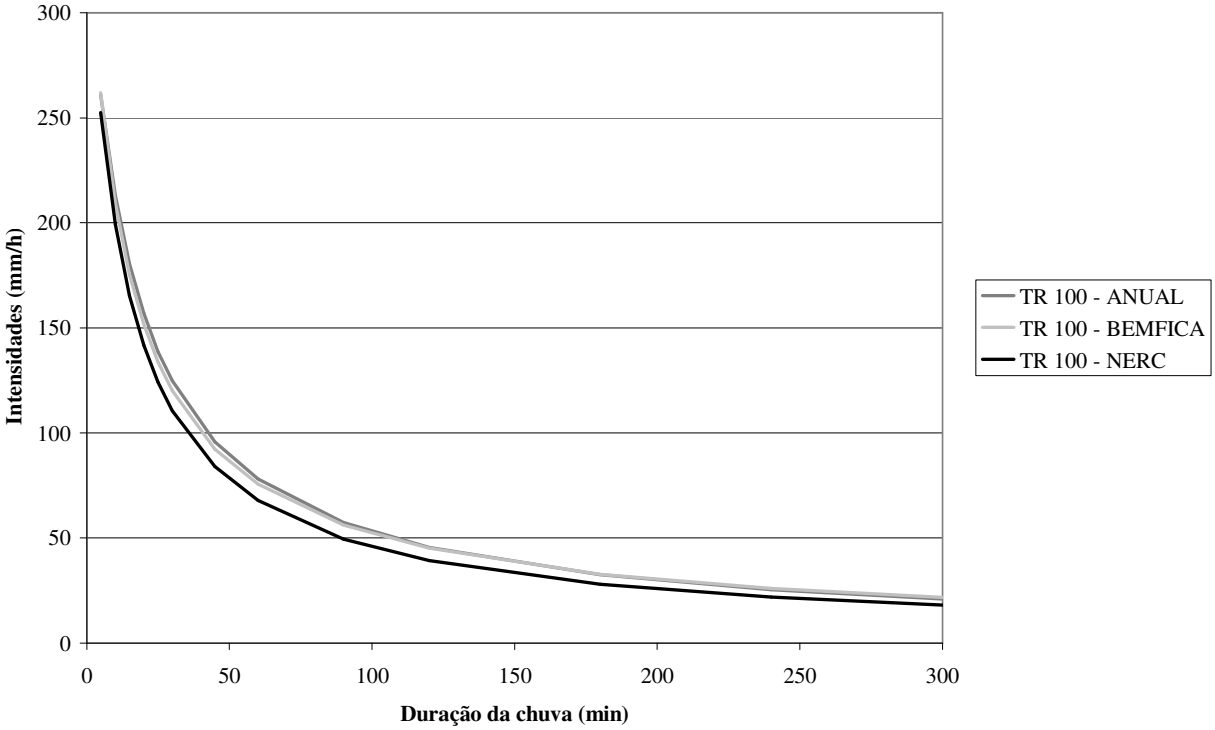

Figura 2. Comparação das curvas i-d-f obtidas pelas diferentes metodologias para Tr = 100 anos.

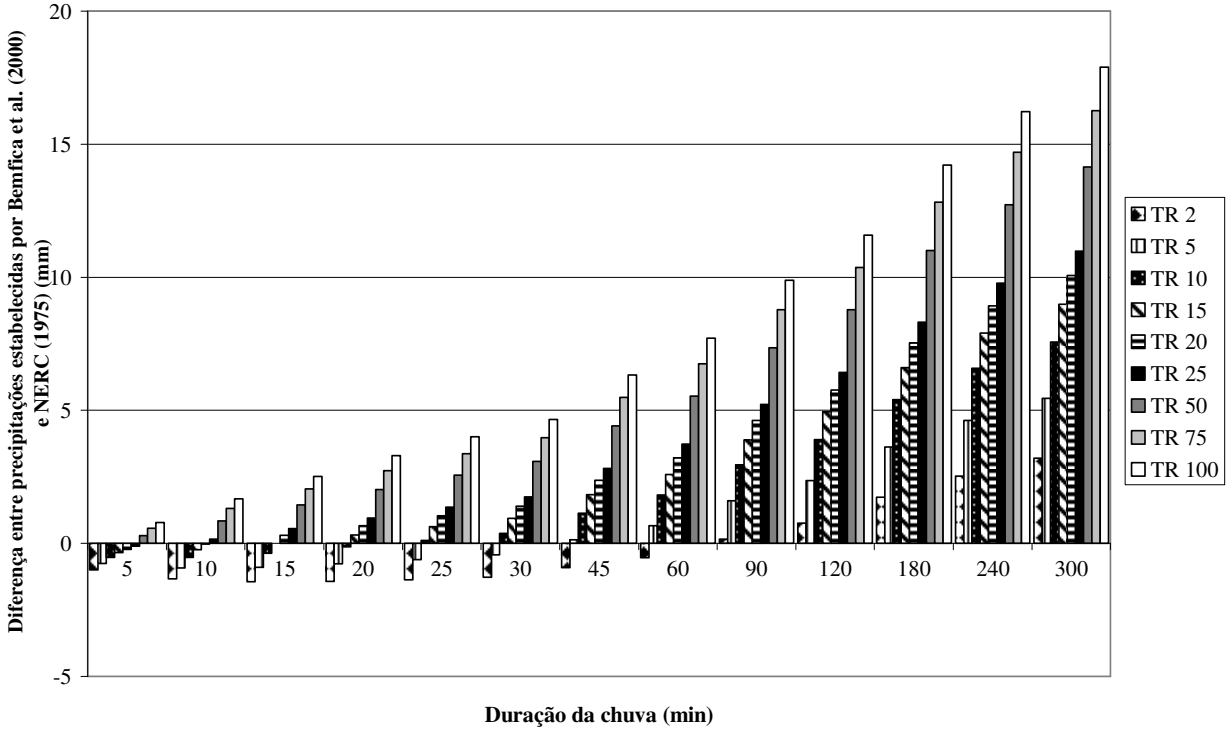

Figura 3. Diferença de precipitação entre Bemfica *et al*. (2000) e precipitação estabelecida com a metodologia de NERC (1975).

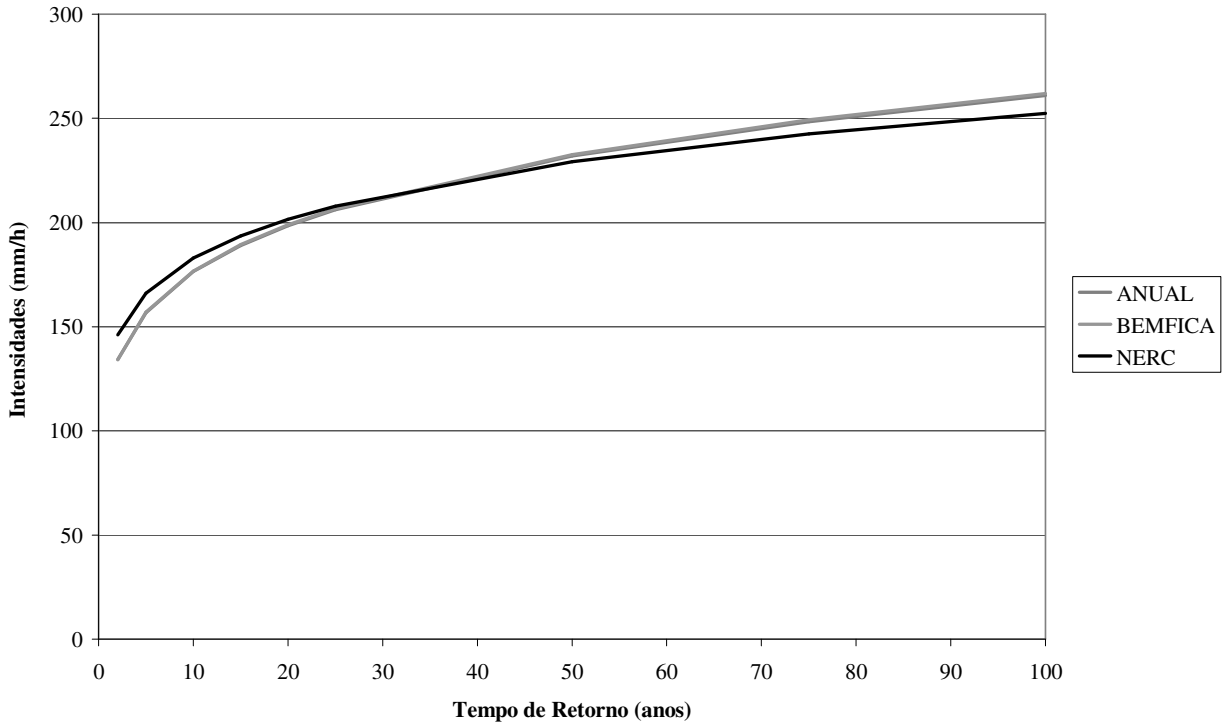

Figura 4. Intensidades versus tempos de retorno para a duração de 5 minutos.

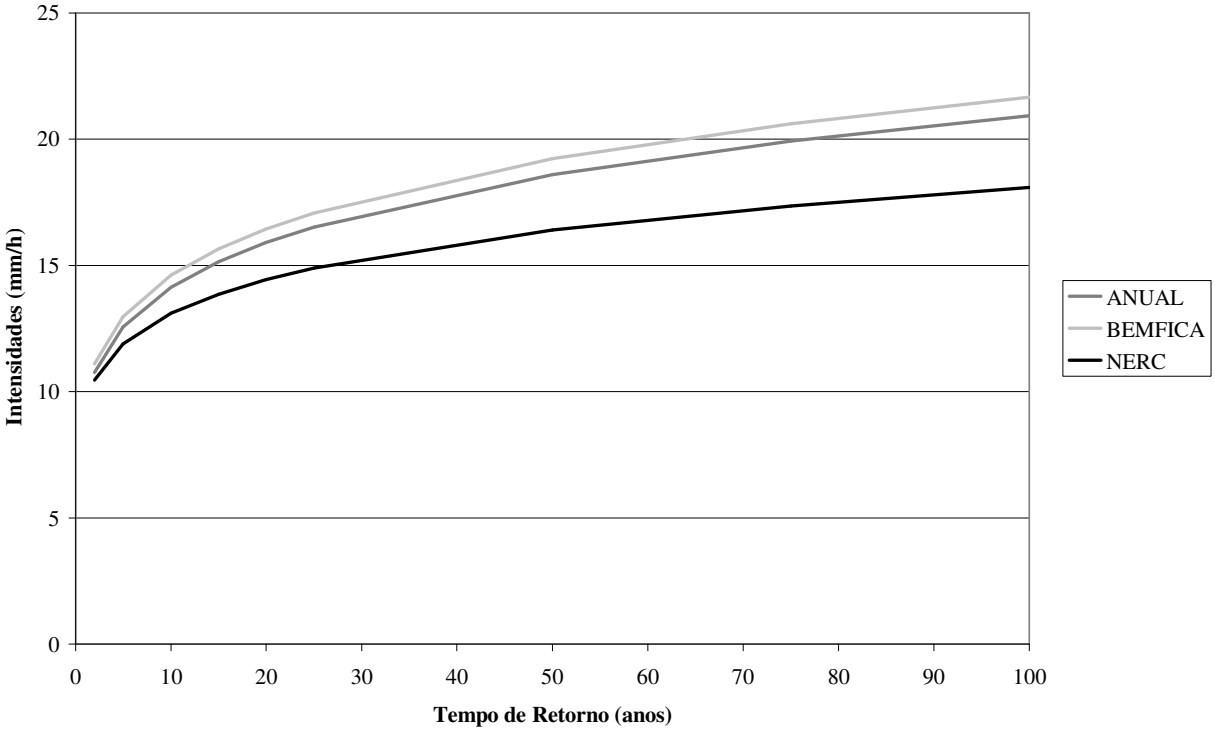

Figura 5. Intensidades versus tempos de retorno para a duração de 300 minutos.

A Figura 3 apresenta que para as menores durações (até 30 minutos), a curva i-d-f obtida a partir da série anual tende a subestimar as precipitações para os tempos de retorno de até 10 anos, quando comparada com os valores obtidos com a curva i-d-f calculada a partir da série parcial conforme metodologia de NERC (1975).

Para a duração de 5 minutos e uma mesma intensidade o tempo de retorno é superestimado para tempos de retorno de até 30 anos e subestimado acima deste valor utilizando a série anual (Figura 4). Assim, o dimensionamento utilizando a série anual está indo contra a segurança para os menores tempos de retorno. Para a duração de 300 minutos e uma mesma intensidade o tempo de retorno é subestimado utilizando a série anual (Figura 5). Assim, o dimensionamento utilizando a série anual está indo a favor da segurança, mas gerando projetos não econômicos, principalmente para os maiores tempos de retorno.

5 –CONCLUSÕES

Nos eventos chuvosos observa-se que as estruturas de microdrenagem urbana têm apresentado falhas, ou seja, suas capacidades de condução são superadas em uma freqüência maior comparado com as quais elas foram dimensionadas. Duas hipóteses podem justificar este efeito: (i) os dados

utilizados para o dimensionamento não representam a realidade, ou seja, não são representativos; ou (ii) o método de dimensionamento das estruturas está equivocado.

Este trabalho admite que o uso de séries parciais para a determinação da curva i-d-f proporciona o cálculo de forma mais realista da intensidade máxima de chuva, e conseqüentemente a altura de precipitação para as diferentes durações, e o tempo de retorno. Os resultados e conclusões de Bemfica *et al.* (2000) foram utilizados para validar os resultados encontrados. Esta validação admite que o processo de transformação chuva-vazão é linear, acreditando que quanto menos chove menor será a vazão e vice-versa.

A utilização de uma curva i-d-f obtida a partir de séries anuais subestima as intensidades e superestima os tempos de retorno para eventos curtos e de baixo tempo de retorno. Este cenário é utilizado normalmente para o dimensionamento das estruturas de microdrenagem. O problema existente é que ao superestimar o tempo de retorno assume-se que uma determinada precipitação possui uma probabilidade menor de ocorrer, mas na verdade ela pode ser mais freqüente. A microdrenagem já é dimensionada para ter alagamentos freqüentes e com o uso de i-d-f de séries anuais os alagamentos ficam ainda mais freqüentes.

Para eventos de maior duração e tempos de retorno maiores as intensidades são superestimadas. Este cenário é utilizado para o dimensionamento das estruturas de macrodrenagem, proporcionando projetos não econômicos. Assim, conclui-se pelos resultados apresentados que o uso de séries parciais gera resultados mais realistas, pois as curvas i-d-f anuais representam uma combinação de valores obtidos de diferentes tormentas que dificilmente se repetirão em um único evento observado.

BIBLIOGRAFIA

BEMFICA, D. C., GOLDENFUM, J.A., SILVEIRA, A.L.L. (2000). *"Verificação da Aplicabilidade de Padrões de Chuva de Projeto a Porto Alegre."* Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Vol. 5, N.4, out/dez, pp 5-16.

CHOW, V. T. (1964). *Handbook of Applied Hydrology.* McGraw Hill, New York.

CRUZ, M.A.S.; SOUZA, C.F. & TUCCI, C.E.M. (2007). *"Controle da drenagem urbana no Brasil: avanços e mecanismos para sua sustentabilidade."* In: Anais XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. São Paulo/SP. CD-ROM.

DAMÉ, R. de C. F. (2001). *Desagregação de precipitação diária para estimativa de curvas intensidade-duração-freqüência.* Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. Porto Alegre.

BR-RS, 131 p.

MADSEN, H., RASMUSSEN, P. F. & ROSBJERG, D. (1997). "*Comparison of annual maximum series and partial duration series methods for modeling extreme hydrologic events. 1. At-site modeling."* Water Resources Research, 33(4), 747-757.

NERC – NATURAL ENVIRONMENT RESEARCH COUNCIL (1975). *Flood studies report.* London, Vol. 1 e 2.

TUCCI, C. E. M. (1993). *Hidrologia – Ciência e Aplicação.* Editora da UFRGS. ABRH.

WILKEN, P. S. (1978). *Engenharia de Drenagem Superficial.* São Paulo, Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, 478 p.