

## Avaliação das Técnicas de Dimensionamento de Reservatórios para Aproveitamento de Água de Chuva

Fernando Dornelles, Rutinéia Tassi, Joel A. Goldenfum

Instituto de Pesquisas Hidráulicas – UFRGS

fds\_eng@yahoo.com.br; rutineia@gmail.com; j.goldenfum@gmail.com

Recebido: 04/11/08 - revisado: 05/12/09 - aceito: 25/05/10

---

### RESUMO

Tem havido no Brasil diversas iniciativas que apontam para a regulamentação e incentivo ao aproveitamento de águas de chuva (AAC), para usos residenciais e industriais. No entanto, questões técnicas ainda devem ser mais bem estudadas, dado que, para o adequado funcionamento do sistema, a capacidade de reservação é fundamental e, para tal, deve ser dimensionada com base na avaliação do nível de atendimento à demanda e eficiência. Visando obter uma ferramenta prática de auxílio à estimativa de desempenho de sistemas de AAC, a metodologia deste trabalho propôs a introdução de um coeficiente de redução (Rd) da precipitação média anual, de maneira a evitar o comportamento deficitário do reservatório. A partir das determinações das áreas de captação, e os Rd's para 16 postos pluviométricos de diversas regiões brasileiras, foram calculados os volumes de reservação por meio de 6 diferentes métodos, contendo, nesta seleção, métodos empíricos, probabilísticos e de simulação.

As áreas de captação necessárias, obtidas com os Rd's, definidos para cada posto, puderam ser bem ajustadas em função da precipitação. Os volumes obtidos mostram que existe uma grande dispersão de resultados para os diferentes métodos, sendo o método por simulação o que apresentou os maiores volumes, e o com menores volumes foi o Método Prático Alemão. Para nenhum dos postos foi possível obter aproveitamento total da chuva captada, sendo o melhor resultado obtido ~87%. O reordenamento da série de chuvas mostrou ter influência significativa nos resultados, evidenciando a recomendação para o uso do método de Monte Carlo.

**Palavras-chave:** Aproveitamento de água de chuva; Dimensionamento de reservatórios.

---

### INTRODUÇÃO

Muitas iniciativas em utilizar as águas pluviais para os consumos não potáveis da população estão em andamento no país. Leis, decretos, planos diretores de drenagem urbana e normas técnicas apontam para que, cada vez mais, o AAC seja adotado. No entanto, as atuais recomendações técnicas para tais medidas são um tanto divergentes, no que diz respeito ao dimensionamento do reservatório para armazenamento da água coletada.

As recomendações técnicas publicadas na norma NBR 15527 (ABNT,2007) apresentam uma vasta gama de resultados para as mesmas premissas de cálculo, fato confirmado também por Silva e Tassi(2005) que obtiveram diferença de 100% para os volumes de reservação entre duas técnicas distintas utilizadas. Esta variabilidade faz com que o projetista não tenha certeza de qual valor adotar. As dúvidas freqüentes recaem em conhecer que riscos de falha de abastecimento e que volumes desperdiça-

dos estarão sendo admitidos, ao escolher o uso de uma determinada técnica de dimensionamento.

A seleção da técnica a ser utilizada é fortemente influenciada pelo seu grau de facilidade no processo de cálculo. As técnicas que exigem séries históricas de dados pluviométricos, por exemplo, tendem a incorporar as características locais dos regimes de chuva, e apresentam assim, um resultado mais consistente; porém, os dados de chuva raramente são diretamente aplicáveis, exigindo um considerável esforço para processá-los.

### OBJETIVO

Esta pesquisa teve por objetivo construir uma ferramenta prática de auxílio à análise de desempenho de sistemas de captação de águas pluviais, em função do volume do reservatório adotado, para diversos postos pluviométricos brasileiros. Buscou-se responder a questões suscitadas pela divergência

entre os resultados dos métodos de dimensionamento de reservatórios, para aproveitamento de águas pluviais.

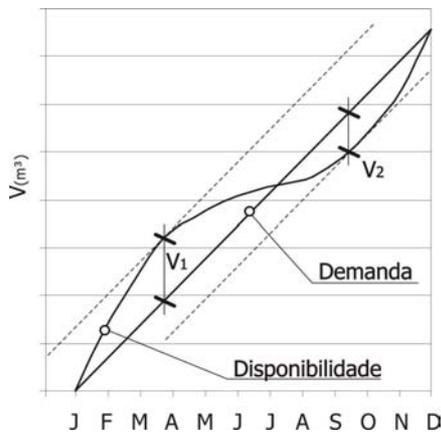


Figura 1a - Aproveitamento máximo.

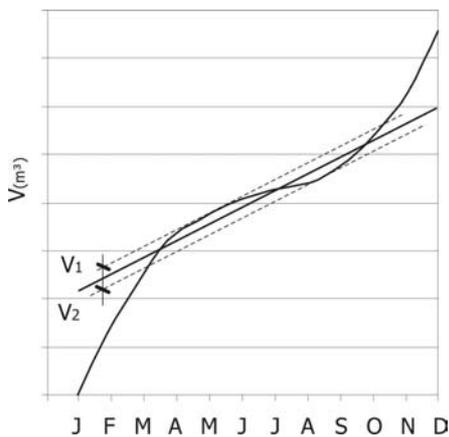


Figura 1b - Aproveitamento aquém do máximo.

## DESCRIÇÃO DOS MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO DE RESERVATÓRIO

### Método do N° de dias consecutivos sem Chuva (Kobiyama *et al*, 2002)

Este método de dimensionamento consiste em realizar um ajuste estatístico do número máximo de dias consecutivos sem registro de chuva por ano, para uma série histórica de precipitações.

Com o ajuste da equação linear do número de dias consecutivos sem chuva, em função da sua probabilidade de ocorrência, é possível obter o valor correspondente ao número de dias sem chuva para

os tempos de retorno desejados, que neste trabalho foram: 3, 5 e 10 anos.

O modelo teórico mais indicado é o que utiliza a distribuição de probabilidades de extremos, a exemplo de Gumbel.

### Método de Rippl (Rippl, 1883 *apud* Raudkivi, 1979)

O método de Rippl, também chamado de diagrama de massa, é um procedimento gráfico onde a curva de volumes médios mensais acumulados é graficada ao longo de um ano hidrológico.

A inclinação da linha do diagrama de massa indica a vazão, assim, uma linha que une o primeiro e o último ponto representa uma demanda constante no tempo. A soma das duas maiores diferenças absolutas (V1 e V2 na Figura 1a) entre a linha de demanda e a do volume acumulado será o volume do reservatório.

Quando a demanda não é a máxima possível aproveitável (disponibilidade média) a linha de demanda passa a ter uma inclinação menor. Busca-se os pontos de tangência entre a linha do volume acumulado e a linha de demanda, e a soma das diferenças absolutas nestes dois pontos será o volume para a reservação (V1 e V2 na Figura 1b).

### Método da Simulação (ABNT, 2007)

Nesse método, os registros de precipitação (mensais ou diários) são utilizados para simular o comportamento do volume de água no reservatório. A simulação inicia com o reservatório cheio, representado por 0 (zero), de forma que, se o resultado do balanço (Eq. 1), em um intervalo de tempo é positivo, automaticamente é utilizada representação de reservatório cheio. Apenas os déficits (valores negativos) são mantidos, e o volume do reservatório será definido como o maior déficit obtido com a série de dados de chuva do local, onde o reservatório será construído.

$$S_{i+1} = S_i + A \cdot P_i - D_i \quad (1)$$

se  $S_{i+1} > 0$  então  $S_{i+1} = 0$

Onde:

$S$  = volume de água no reservatório (litro)

$P$  = precipitação (mm)

$A$  = área de coleta de água de chuva (m<sup>2</sup>)

$D$  = demanda (litro)

$i$  = indexador temporal (dia ou mês)

Caso durante a simulação os valores positivos de S forem registrados em uma série em paralelo, é possível obter o volume de água que foi diretamente descartado pelo extravasor do reservatório. Dessa forma é possível conhecer a eficiência (Eq. 5) do aproveitamento em relação aos desperdícios que o sistema terá.

#### Método Azevedo Neto (ABNT, 2007)

Trata-se de um método prático que visa obter o volume de reservação diretamente de uma equação (Eq. 2), onde apenas 3 parâmetros são necessários (ABNT, 2007).

$$S = 0,042 \cdot P \cdot A \cdot T \quad (2)$$

Onde: S = volume de água no reservatório (litro)

P = precipitação (mm)

A = área de coleta de água de chuva (m<sup>2</sup>)

D = demanda (litro)

T = n° de meses secos por ano

Foi adotado para este trabalho que o número de meses com pouca, ou nenhuma chuva, é a contagem dos meses que apresentam precipitação média inferior a 100mm. Para os postos com precipitação média mensal sempre superior a este valor, adotou-se o mínimo de 1 mês. Este critério reproduziu satisfatoriamente o número de meses do período de estiagem nos postos selecionados.

#### Método Prático Alemão (ABNT, 2007)

Este é um método empírico, que adota como volume de reservação o valor mínimo entre 6% da demanda anual ou 6% da disponibilidade de água de chuva (Eq. 3).

$$S = \min(P \cdot A ; 365,25 \cdot D) \cdot 0,06 \quad (3)$$

Onde:

P = precipitação média anual (mm)

A = área de captação (m<sup>2</sup>)

D = demanda diária (litro)

S = volume do reservatório (litro)

#### Método Prático Inglês (ABNT, 2007)

Neste método, o volume do reservatório é obtido pela equação empírica Eq. 4, que adota diretamente 5% do volume anual de água pluvial captado.

$$S = 0,05 \cdot P \cdot A \quad (4)$$

Onde:

P = precipitação média anual (mm)

A = área de captação (m<sup>2</sup>)

S = volume do reservatório (litro)

## METODOLOGIA

As técnicas de dimensionamento da capacidade dos reservatórios de armazenamento de água da chuva podem utilizar diferentes parâmetros de entrada (precipitação média anual, demanda, área de captação, tempo de retorno) e/ou diferentes sensibilidades a estes. Para uma representação mais abrangente da diversidade dos comportamentos pluviométricos, utilizaram-se dados históricos de precipitação de diversos postos no território brasileiro, refletindo a influência dos regimes regionais no dimensionamento. Os postos foram selecionados em função de suas localizações de maneira a representar o regime de chuvas dos diversos climas existentes no país.

Inicialmente, foi explorada uma técnica de determinação da área mínima de captação da água de chuva, fixando-se assim esta variável. Visando atender à demanda de água não potável, foi adotado somente o consumo diário de uma bacia sanitária para atender a necessidade mínima de 1 pessoa, estimado em 36 litros (6 acionamentos) (Tomaz, 1997). A área de captação necessária é definida em função da precipitação média anual, e pela análise da série temporal do volume do reservatório, utilizando a simulação de balanço diário.

A estimativa da área de captação é efetuada com base na precipitação média anual, o que pode criar uma reservação deficitária, onde o efeito da ocorrência de anos consecutivos com escassez de chuva exigiria reservatórios com grandes volumes fazendo com que o reservatório não tornasse a ficar cheio. Para compensar a relação entre área de captação e demanda, existem recomendações em Kobiyama *et al* (2002) para reduzir em 50% os volumes precipitados, para aproveitamentos no Brasil.

A tendenciosidade da série simulada do volume armazenado foi avaliada aplicando-se o teste de Mann-Kendall com significância de 95%. Esse teste estatístico adota distribuição normal para a contagem dos incrementos positivos e negativos na série para os deslocamentos ("lags") de 1 a (n-1), onde n é o tamanho da série. O resultado é a indicação de tendência significativa crescente ou de-

crescente, ou ainda, se não há tendência significativa (Hipel & McLead, 1994). Desta forma é possível avaliar se a relação área de captação e precipitação média anual do posto está gerando, ou não, um comportamento deficitário do volume de reservação.

A fim de evitar o comportamento deficitário do volume reservação, foi proposto um coeficiente de redução da precipitação (Rd) para obter uma proporção ideal entre área de captação e precipitação média anual do posto. Este coeficiente é multiplicado pelo desvio padrão da série de precipitação anual, e então, este resultado é subtraído da precipitação média anual (Eq. 6). Assim, regiões com uma maior variabilidade da chuva média anual têm maiores reduções no valor da precipitação e, conseqüentemente, necessitando maiores áreas de captação. O coeficiente de redução (Rd) é definido para cada posto, pela análise da tendência da série simulada do volume armazenado, onde o valor do Rd é obtido quando a série não apresentar tendência decrescente significativa, garantindo que, para os dados de chuva utilizados, o reservatório volte a encher-se.

Para avaliar o grau de influência que o reordenamento da seqüência dos dados de chuvas tem sobre a obtenção do Rd, foi realizada, também, a simulação com a ordem cronológica invertida da série de chuva.

Com os valores de Rd definidos, coube procurar correlações entre as características de cada posto (latitude, precipitação média anual, desvio padrão da precipitação anual e número de meses secos) e o Rd, para, assim, permitir uma simplificação na estimativa do Rd.

Com as áreas de captação definidas para cada posto, foram obtidos, então, os volumes de armazenamento, utilizando-se todas as 6 técnicas citadas neste trabalho: N° Dias Sem Chuva (para os Tr's 3, 5 e 10 anos), Rippl, Simulação (diária e mensal), Azevedo Neto, Prático Alemão e Prático Inglês.

A avaliação do desempenho dos diversos dimensionamentos foi realizada utilizando simulação. Isso permitiu analisar o comportamento do volume de reservatório para os dados diários de precipitação de cada posto selecionado, avaliando o grau de atendimento à demanda que o sistema de aproveitamento de águas pluviais obteve, bem como os volumes armazenados (utilizados) e extravasados (desperdiçados).

Os índices de avaliação utilizados são o percentual de água de chuva que é utilizado do total captado (Eq. 5) e o número de dias que a demanda não foi atendida por ano.

$$CE = \frac{Vu}{Vp} \quad (5)$$

Onde:

CE = coeficiente de eficiência

Vu = volume utilizado (m<sup>3</sup>)

Vp = volume precipitado que chega ao reservatório (m<sup>3</sup>)

As simulações para determinar as curvas de eficiências, desperdício e falhas para cada posto consideraram o reservatório vazio no instante inicial. Dessa forma, foi possível obter resultados da simulação com o cenário mais provável de ocorrer, que é o de não haver o enchimento inicial do reservatório. Foi utilizada, também, a ordem cronológica dos dados para todos os postos, incluindo aqueles para os quais o Rd foi obtido com a série invertida cronologicamente.

As demais definições adotadas foram: coeficiente de escoamento de 0,85, representando a característica média de uma cobertura de telhado padrão (fibro-cimento ou cerâmico) e incluso, neste coeficiente, está o descarte do primeiro fluxo de água contaminada (Tomaz, 1997). Para o método de dimensionamento através do número de dias consecutivos sem precipitação, foi adotado o valor de 2mm, como sendo a chuva mínima significativa.

Finalmente, foram calculados os volumes de reservação pelos diversos métodos de dimensionamento, e sugeridos valores mínimos de área de coleta necessária para atender à demanda de água para usos não potáveis, considerados neste trabalho. Os resultados são apresentados em relação ao consumo de uma pessoa e para alguns locais do Brasil.

## DADOS DISPONÍVEIS

Os dados utilizados foram precipitações diárias obtidas no Hidroweb (ANA, 2003), totalizando 16 estações pluviométricas onde na Tabela 1, estão suas localizações e na Tabela 2 estão suas características estatísticas.

Na Figura 2 estão localizados os postos pluviométricos com seus respectivos códigos.

O critério para tratamento das falhas foi a exclusão dos anos que tiveram em um mesmo mês mais de 5 dias com falha. Nos casos em que o número de falhas ficou aquém deste valor, foi adotado que o dia não apresentou precipitação significativa, assim, foi mantida uma parcimônia entre obter o

máximo aproveitamento dos registros e não subestimar significativamente os dados reais.

Tabela 1 – Lista dos postos selecionados.

	CÓD. ANA	Nome	Estado	Longitude	Latitude
1	359001	NOVA OLINDA DO NORTE	AM	-59°05'24"	-3°53'06"
2	735006	SAPÉ	PB	-35°13'59"	-7°06'00"
3	739011	CARIRIAÇU	CE	-39°16'59"	-7°01'59"
4	747001	GOIATINS	TO	-47°18'54"	-7°42'40"
5	948000	MIRACEMA DO TOCANTINS	TO	-48°23'17"	-9°33'50"
6	1547012	PAPUDA	DF	-47°39'40"	-15°57'32"
7	2054009	SANTA ELISA	MS	-54°52'19"	-20°29'42"
8	2249003	FAZENDA ÁGUA DOS PATOS	SP	-49°12'00"	-22°07'01"
9	2344016	VILA MAMBUCABA	RJ	-44°31'05"	-23°01'34"
10	2951022	NOVA PALMIRA	RS	-51°11'20"	-29°20'06"
11	3051016	CAMAQUÁ	RS	-51°47'42"	-30°52'16"
12	3051023	BARRA DO RIBEIRO	RS	-51°47'42"	-30°17'53"
13	3051031	BUTIA	RS	-51°56'13"	-30°09'29"
14	3056003	QUARAI	RS	-56°28'59"	-30°22'59"
15	8260002	BOA ESPERANÇA	RR	-60°40'23"	2°24'47"
16	8360000	MALOCA DO CONTÃO	RR	-60°31'41"	4°10'05"

Tabela 2 – Características estatísticas dos postos selecionados.

	Nome	P Média Anual (mm)	Desv. Pad. Anual (mm)	Nº meses estiagem	Tamanho da série (ano)
1	NOVA OLINDA DO NORTE	2304,8	321,9	2	20
2	SAPÉ	1030,3	297,4	7	63
3	CARIRIAÇU	1058,1	370,5	8	69
4	GOIATINS	1631,2	325,8	5	31
5	MIRACEMA DO TOCANTINS	1708,6	274,2	5	31
6	PAPUDA	1356,7	272,8	6	35
7	SANTA ELISA	1415,5	291,1	6	20
8	FAZENDA ÁGUA DOS PATOS	1332,6	285,7	6	24
9	VILA MAMBUCABA	2242,7	450,3	3	21
10	NOVA PALMIRA	1555,1	342,9	1	61
11	CAMAQUÁ	1520,6	308,0	1	24
12	BARRA DO RIBEIRO	1397	270,6	1	24
13	BUTIA	1627	305,0	1	20
14	QUARAI	1352,2	313,7	3	25
15	BOA ESPERANÇA	2043,8	329,7	7	7
16	MALOCA DO CONTÃO	1519,7	558,96	6	26

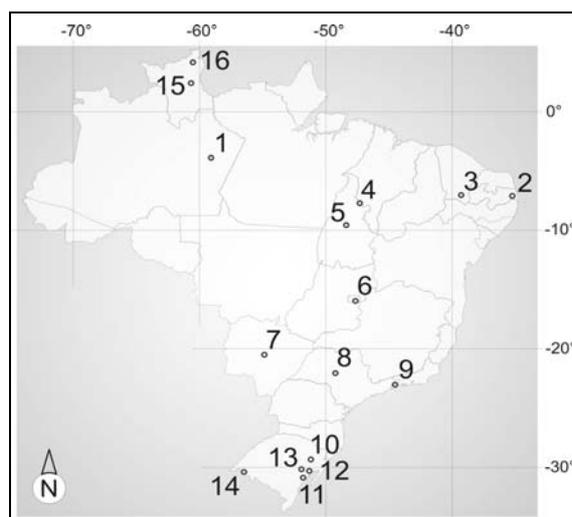


Figura 2 - Localização dos postos pluviométricos selecionados.

## RESULTADOS E ANÁLISES

### Definição do Coeficiente de Redução da Precipitação Anual

Na Figura 3 são apresentados 3 gráficos, para diferentes Rd's, com a simulação mensal do volume do reservatório para o posto 2951022 – Nova Palmira/RS, onde zero representa reservatório cheio e os volumes negativos representam os déficits em relação ao reservatório cheio.

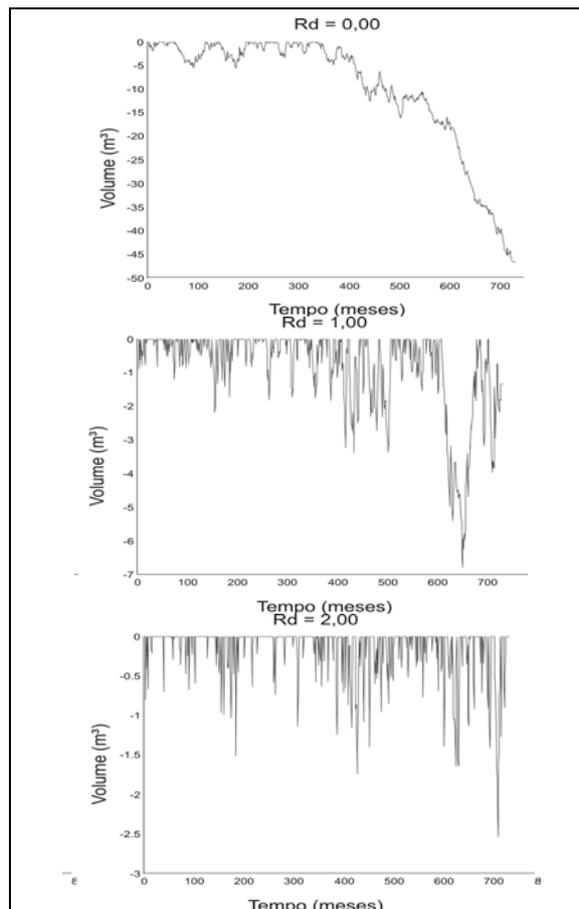


Figura 3 – Simulação mensal para 3 diferentes coeficientes de redução de precipitação média anual.

A redução que o coeficiente Rd proporciona na precipitação anual faz com que a área de captação deva ser aumentada, e assim obter um comportamento não tendencioso a déficits cada vez maiores. Isso exige, conseqüentemente, menores volumes de armazenamento; contudo, o ônus deste artifício é o aumento dos volumes extravasados e da área de captação.

Na Tabela 3 são apresentados, para cada posto, as tendências para a variação do Rd entre 0 e 2, onde Rd=0 utiliza os dados originais e Rd=2 reduz a precipitação anual em duas vezes o seu desvio padrão anual.

**Tabela 3 – Tendência para os 16 postos e para Rd variando de 0 a 2 em ordem cronológica.**

Número de desvios padrão reduzidos da Pmedia									
CÓD.	0	0.25	0.5	0.75	1	1.25	1.5	1.75	2
ANA									
359001	D	D	D	NT	NT	NT	NT	C	C
735006	D	D	C	C	C	C	C	C	C
739011	C	C	C	C	C	C	C	C	C
747001	D	D	D	NT	NT	NT	NT	C	C
948000	D	NT	NT	NT	NT	NT	NT	C	C
1547012	D	D	D	NT	NT	NT	NT	C	C
2054009	D	D	NT	NT	C	C	C	C	C
2249003	D	D	D	D	D	D	NT	NT	C
2344016	D	D	D	NT	NT	NT	C	C	C
2951022	C	C	C	C	C	C	C	C	C
3051016	D	NT	NT	C	C	C	C	C	C
3051023	C	C	C	C	C	C	C	C	C
3051031	D	C	C	C	C	C	C	C	C
3056003	NT	C	C	C	C	C	C	C	C
8260002	NT	NT	NT	NT	C	C	C	C	C
8360000	C	C	C	C	C	C	C	C	C

C	Tendência crescente
D	Tendência decrescente
NT	Não há tendência

Dp = desvio padrão da precipitação anual  
 C = coef. de escoamento (0,85)

**Tabela 4 – Tendência para os 16 postos e para Rd variando de 0 a 2 com ordem cronológica inversa.**

Número de desvios padrão reduzidos da Pmedia									
CÓD	0	0.25	0.5	0.75	1	1.25	1.5	1.75	2
ANA									
359001	NT	NT	NT	NT	C	C	C	C	C
735006	D	D	D	D	D	NT	C	C	C
739011	D	D	D	D	NT	NT	C	C	C
747001	NT	C	C	C	C	C	C	C	C
948000	NT	NT	NT	NT	NT	NT	C	C	C
1547012	C	C	C	C	C	C	C	C	C
2054009	NT	NT	C	C	C	C	C	C	C
2249003	C	C	C	C	C	C	C	C	C
2344016	D	D	D	NT	NT	NT	C	C	C
2951022	D	D	D	D	D	NT	C	C	C
3051016	D	D	D	NT	C	C	C	C	C
3051023	D	D	D	D	D	NT	C	C	C
3051031	D	D	D	D	NT	NT	C	C	C
3056003	D	D	D	D	D	D	NT	C	C
8260002	D	D	D	D	D	D	NT	NT	NT
8360000	NT	NT	D	D	D	NT	NT	C	C

C	Tendência crescente
D	Tendência decrescente
NT	Não há tendência

**Tabela 5 – Valor do coeficiente de redução (Rd) e as áreas de captação de cada posto.**

	Rd	Área de Cap. (m²)		Rd	Área de Cap. (m²)
1	0.75	7.5	9	0.75	8.1
2	1.25	23.4	10	1.25	13.7
3	1.00	22.5	11	0.75	12.0
4	0.75	11.2	12	1.25	14.6
5	0.25	9.4	13	1.00	11.7
6	0.75	13.4	14	1.50	17.5
7	0.50	12.2	15	1.50	10.0
8	1.50	17.1	16	1.25	18.8

A definição do coeficiente de redução se mostrou muito sensível à variabilidade da precipitação anual, ao ordenamento, à época contemplada pelo período de dados disponíveis e ao tamanho da amostra.

A Tabela 4 mostra as tendências da série de volume armazenado na simulação mensal, porém com a ordem cronológica invertida. É possível observar a influência do ordenamento da série na definição do valor do Rd.

Na Tabela 5 são apresentados os valores de Rd, as áreas de captação de água da chuva necessárias, obtidas pela Eq. 6, adotados para os 16 postos.

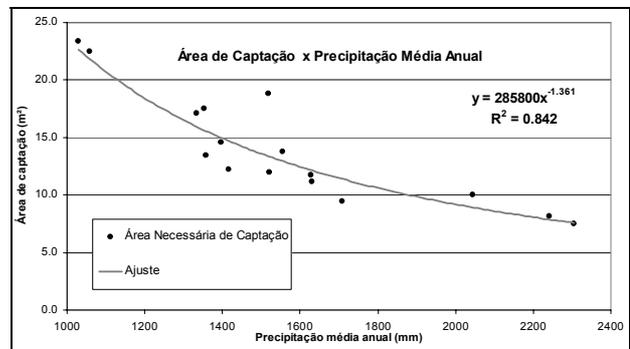
$$A = \frac{D \cdot 365,25}{(P - Rd \cdot Dp) \cdot C} \tag{6}$$

Onde:

A = área de captação (m²)

D = demanda diária (36 litros)

P = precipitação média anual (mm)



**Figura 4 – Ajuste de equação relacionando a precipitação média anual com a área de captação.**

Os valores de Rd não apresentaram correlação significativa com nenhuma das seguintes características dos postos pluviométricos: latitude, precipitação anual, desvio padrão da precipitação anual e número de meses secos.

Visto que não houve correlações que permitissem estimar o Rd de modo mais simples, procurou-se um ajuste entre a área de captação necessária em função da precipitação média anual (Figura 4).

Apenas o posto 739011 – Caririaçu/CE não apresentou um bom ajuste à equação, talvez pelo fato de ter um comportamento pluviométrico distinto dos demais postos, apresentando o mais alto desvio padrão para a precipitação anual e número de meses secos.

A metodologia de definição do coeficiente de redução da precipitação média anual (Rd) se mostrou eficaz. Foi possível obter uma relação entre área de captação de chuva e a demanda, que gerou uma série mensal simulada de volumes armazenados sem tendência decrescente.

### Dimensionamento da Capacidade do Reservatório

Com os valores de Rd definidos para cada posto, foram então calculados os volumes de reservação, utilizando os métodos de dimensionamento apresentados. Os valores resultantes são apresentados na Tabela 6.

Os volumes de reservação, obtidos pelos diversos métodos, mostraram uma grande variabilidade entre si. O método de simulação apresentou sempre valores bem maiores que os demais, pelo fato deste método adotar a pior situação (maior déficit) simulada com os dados das séries observadas. O método Prático Alemão foi o que resultou no menor volume (0,789m<sup>3</sup>), sendo este valor foi idêntico para todos os postos, devido ao fato deste método utilizar a demanda anual de projeto, ou o volume anual captado para estimar o volume de reservação, sendo o primeiro o que prevaleceu em todos os casos.

Observando, e comparando entre si, os métodos do número de dias consecutivos sem chuva e o Azevedo Neto, verificou-se que ambos utilizam como dado de entrada o tamanho do período de estiagem. No entanto, utilizam critérios diferentes para inferir a magnitude da estiagem. Assim, o método Azevedo Neto indicou maiores volumes para os postos com maior período seco (acima de 5 meses por ano com precipitação inferior a 100mm), e para os postos com baixa sazonalidade anual, o método do número de dias sem chuva foi o que gerou maiores volumes de reservatório.

**Tabela 6 – Volumes (m<sup>3</sup>) de reservação para os métodos de dimensionamento da capacidade do reservatório para os 16 postos.**

	Nº de Dias s/ Chuva			Rippl
	Tr=3anos	Tr=5anos	Tr=10anos	
1	0.701	0.812	0.951	2.149
2	2.150	2.678	3.340	2.558
3	4.448	5.394	6.583	4.386
4	3.214	3.636	4.167	4.211
5	3.922	4.376	4.947	4.544
6	3.669	4.216	4.902	4.538
7	1.938	2.271	2.690	2.675
8	1.955	2.373	2.899	1.637
9	0.915	1.044	1.205	1.871
10	0.788	0.879	0.993	0.000
11	0.865	0.961	1.081	0.047
12	0.990	1.159	1.370	0.000
13	0.951	1.102	1.293	0.105
14	1.261	1.482	1.760	0.000
15	1.244	1.429	1.661	3.842
16	2.349	2.770	3.299	2.412

	Simulação		Azevedo Neto	Prático Alemão	Prático Inglês
	Sim. Diária	Sim. Mensal			
1	6.021	5.590	1.451	0.789	0.864
2	19.654	19.651	7.075	0.789	1.203
3	19.496	18.774	7.998	0.789	1.190
4	8.721	7.984	3.821	0.789	0.910
5	11.610	11.336	3.384	0.789	0.806
6	9.241	8.526	4.590	0.789	0.911
7	6.578	6.031	4.345	0.789	0.862
8	8.390	7.038	5.747	0.789	1.140
9	8.054	7.630	2.295	0.789	0.911
10	4.496	4.033	0.897	0.789	1.068
11	7.020	6.846	0.766	0.789	0.912
12	6.524	5.862	0.857	0.789	1.021
13	4.542	4.427	0.800	0.789	0.952
14	5.683	4.998	2.990	0.789	1.186
15	5.677	5.562	6.000	0.789	1.020
16	10.806	10.639	7.216	0.789	1.432

O método de Rippl se mostrou válido apenas para os postos com forte sazonalidade anual, ou seja, com o período de estiagem bem definido. Regimes de chuva dessa natureza são caracterizados pela grande amplitude da variação pluviométrica ao longo do ano, situação esta que não ocorre nos postos da região sul do Brasil (chuva bem distribuída), onde os volumes calculados para reservação foram zero ou muito próximos de zero, inviabilizando, assim, a utilização deste método para postos com esta característica.

### Curvas de Eficiência, Desperdício e Falhas

As Figuras 5 e 6 mostram as curvas de eficiência (percentual utilizado do total captado) e as curvas com o número de dias em que a demanda não foi atendida por ano, respectivamente. As curvas

estão organizadas por semelhança em 3 grupos para facilitar a análise.

A eficiência varia para todos os postos com o aumento do volume do reservatório até  $\sim 5\text{m}^3$ . A partir deste valor, a eficiência cresce quase que assintoticamente, de forma que o volume que gera a eficiência total (100%) seria extremamente grande. As características que diferenciam a curva de eficiência de um posto para a de outro são: a eficiência mínima (para  $V=0,25\text{m}^3$ ), volume onde o crescimento se torna assintótico e a eficiência neste ponto.

As curvas para o número de dias em que a demanda não é atendida por ano mostram que garantir o atendimento à demanda em todos os dias dos anos é mais tangível, que obter a eficiência máxima. Porém, isso ocorre com volumes superiores a  $4\text{m}^3$ .

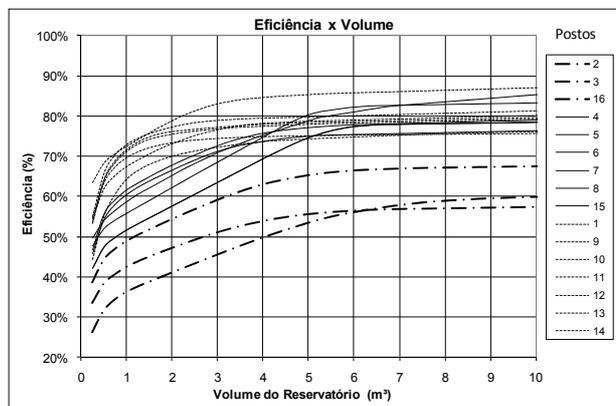


Figura 5 – Curvas de eficiência.

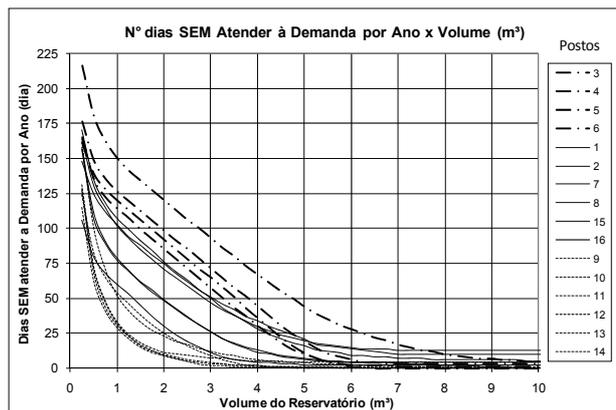


Figura 6 – Nº de dias que a demanda não é atendida por ano.

Os agrupamentos criados contêm praticamente os mesmos postos para curvas de eficiência, e número de dias sem atender à demanda por ano. Ao comparar as Figuras 5 e 6, verifica-se que 6 dos 16 postos alteram para o grupo adjacente ao que pertencem, mostrando que elas apresentarão distintas regiões de validade, para uma futura regionalização destas curvas.

## CONCLUSÕES

Foram avaliados 6 métodos de dimensionamento de reservatório de armazenamento de água de chuva. Foram utilizados dados de diversos postos pluviométricos do território brasileiro, acrescentando ao trabalho uma maior abrangência de regimes pluviométricos existentes no país.

Durante a definição das premissas de cálculo, julgou-se relevante determinar uma relação entre a demanda e a área de captação, que promovesse um comportamento não deficitário do estoque de água no reservatório. Sendo a área de captação função da demanda e da precipitação média anual, criou-se um coeficiente de redução ( $R_d$ ) para a precipitação. Este coeficiente multiplica o desvio padrão da precipitação anual, e o resultado é, então, subtraído do valor da precipitação anual. Foram analisados valores de  $R_d$  variando entre 0 e 2, e a determinação do valor adequado, para cada posto, foi feita a partir da análise de tendência do volume de reservação (significância de 95%), onde o  $R_d$  era fixado quando a série não apresentava tendência.

A determinação do  $R_d$ , para cada posto, revelou a forte sensibilidade da tendência ao se realizar a simulação com a série de chuva invertida cronologicamente. Esta inversão foi realizada apenas com caráter investigativo. Visto que os valores de precipitação são aleatórios, e seguem uma distribuição normal, a utilização do método de Monte Carlo, com séries sintéticas, é fortemente recomendado neste caso, já que o tamanho da série, e a ocorrência de períodos anômalos influenciam significativamente a determinação do  $R_d$ .

Foi possível ajustar uma equação relacionando a área de captação necessária para atender à demanda diária de uma pessoa com a precipitação média anual para cada posto, apresentando um coeficiente de determinação ( $R^2$ ) de 0,842. Isso permite determinar a área de captação necessária, sem a necessidade de analisar a tendência da série de volumes de reservação simulados.

Tanto os valores de  $R_d$ , quanto o ajuste da equação da área de captação em função da precipitação, são valores exploratórios iniciais, dado o diminuto número de postos pluviométricos utilizados frente às dimensões do território brasileiro. Uma investigação mais exaustiva é exigida, para obter uma maior confiabilidade aos resultados obtidos, ou até mesmo indicar validade regional dos resultados.

Com a confecção das curvas de eficiência e de número de dias em que a demanda não é atendida por ano, foi possível conhecer como estes índices variam com o aumento do volume do reservatório.

O percentual de água aproveitada para o posto mais favorável foi de ~87% para reservatório de 10m<sup>3</sup>/pessoa, significando que apenas 13% é extravasado. Isso foi verificado, especialmente, nas situações onde são observadas altas precipitações, sendo que nestas mesmas condições o número médio de falhas de atendimento à demanda por ano é de apenas 2 dias.

Os diversos métodos de dimensionamento apresentaram grande dispersão de resultados, sendo o método de dimensionamento por simulação o que apresentou maiores volumes, e o prático alemão os menores. O método de Rippl foi válido apenas para os postos com período seco expressivo, ou seja, com grande amplitude da variação dos volumes precipitados nos períodos secos e úmidos, impossibilitando a sua utilização para postos do sul do país.

Não foi possível obter um volume ótimo, ou indicar o melhor método de dimensionamento, pois não foram utilizadas funções de restrição, como por exemplo, o custo de construção do reservatório.

Espera-se que este trabalho tenha contribuído para o desenvolvimento da técnica de aproveitamento de águas pluviais, fornecendo níveis de eficiência e de atendimento à demanda para auxiliar o projetista, balizando a sua decisão ao dimensionar um reservatório de armazenamento de água de chuva.

## AGRADECIMENTOS

À CAPES pela concessão de bolsa de estudo para o primeiro autor, e ao CPNQ pela concessão de bolsa de produtividade ao terceiro autor. Reconheço a disponibilização dos dados pela Agência Nacional de Águas (ANA) que permitiram a realização deste trabalho.

## REFERÊNCIAS

- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15527: "Água de Chuva-Aproveitamento de áreas urbanas para fins não potáveis – Requisitos" - Rio de Janeiro, outubro de 2007. 8 p.
- ANA. 2003. Hidroweb. Disponível: [www.hidroweb.ana.gov.br](http://www.hidroweb.ana.gov.br). Acessado: Janeiro/2008.
- HIPEL, K. W. & MCLEAD, A. I. – Time Series Modelling of Water Resources an Environmental Sitems, 1994, cap. 23, p853-938. Acesado em 31/12/2007: <http://www.stats.uwo.ca/faculty/aim/1994book/>
- KOBIYAMA, M.; TSUYOSHI, U. ;ANJOS AFONSO, M. ; (organizadores da tradução) (2002) – Ed. Organic Trading, 1ª edição, 196p – Curitiba/PR – Brasil.
- RAUDKIVI, A. J. – Hydrology: na advanced introduction to hydrological processes and modeling. 1979 – Ed. Pergamon Press – University of Auckland, New Zealand.
- SILVA, A.R.V.; TASSI, R.; Dimensionamento e simulação do comportamento de um reservatório para aproveitamento De água da chuva: resultados preliminares – SBRH 2005 – João Pessoa/BR.
- TOMAZ, P. – Conservação da Água, cap. 8 – Aproveitamento de água de chuva para fins não-potáveis em áreas urbanas, 1997 – Sem editora – Guarulhos/SP – Brasil.

## *Evaluation of the Dimensioning Techniques for Rainwater Harvesting Reservoirs*

### ABSTRACT

*Several steps have been indicated in Brazil to regulate and support rainwater harvesting for residential and industrial purposes.*

*However, technical questions must be further studied, since for accurate functioning of the system it is essential to determine the reservoir capacity; therefore, it must be dimensioned based on the assessment of the level of demand and efficiency.*

*Initially, this paper proposed the use of a reduction coefficient ( $R_d$ ) for mean annual rainfall in order to avoid reservoir behavior deficiencies. After the areas and the  $R_d$ s of 16 raingauges in several Brazilian regions were defined, the reservoir volumes were calculated using 6 different methods, including empirical, probabilistic and simulation.*

*The collection areas needed, obtained with  $R_d$ s and determined for each raingauge station, were well adjusted based on precipitation. The volumes obtained present a wide*

*dispersion among the methods, with the simulation method presenting the largest volumes and the German Practice Method the smallest. None of the rain gauge stations presented total efficiency, the best result being ~87%. The re-setting of the data strongly influenced the results, pointing to the use of the Monte Carlo method as a possible solution to solve this problem.*

**Key-word:** *rainwater harvesting; reservoir dimensioning.*