

Estudo de operação do reservatório de Guarapiranga

LUIZ CARLOS HELOU

Engenheiro, trabalha para a Superintendência de Controle e Desenvolvimento da Operação da Região Metropolitana da Sabesp

LUIZ GONZAGA DA SILVA

Engenheiro, matemático e tecnólogo, trabalha para a Diretoria de Operação da Região Metropolitana de São Paulo da Sabesp

Anecessidade crescente de água para o abastecimento da Região Metropolitana de São Paulo faz com que os recursos hídricos na Bacia do Alto Tietê se tornem insuficientes. Por isso, são necessárias a otimização da produção de cada sistema de água — possibilitando a maximização sazonal de retiradas de água do manancial — e a cautela na operação nos períodos e estiagem severa. Contribuir para essas questões é o que pretende este estudo, cuja primeira versão foi apresentada no 14.º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária, São Paulo, 1987.

O planejamento do "setor saneamento" deve fixar as características e as datas de entrada em operação de novos sistemas de abastecimento, adução e distribuição de água, que atendam aos requisitos crescentes do mercado consumidor. O sistema de abastecimento de água deve ser dimensionado de tal forma que a probabilidade de não se atender ao mercado seja menor que um valor considerado aceitável. Não se pode pretender uma garantia absoluta do abastecimento, pois os sistemas estão sujeitos a um certo risco de falha.

A demanda pode eventualmente não ser atendida, pelas seguintes razões:

- falta de água nos reservatórios;
- falhas nos equipamentos de adução e distribuição;
- redução na disponibilidade de potência dos equipamentos de adução;
- variações na demanda e erros na sua previsão;
- impossibilidade de tratamento, em decorrência de se atingir níveis alarmantes de poluição no manancial utilizado.

Muito se tem estudado no Brasil o problema do atendimento em termos de energia, especialmente com o desenvolvimento de modelos de simulação, que podem utilizar tanto vazões históricas (análises determinísticas baseadas no conceito de energia firme) como séries sintéticas de afluências (análises probabilísticas baseadas no conceito de energia garantida com um dado nível de risco). Por outro lado, o estudo do problema de atendimento de demanda tem merecido atenção menor, provavelmente porque os investimentos em demanda adicional nas Estações de Tratamento de Água são proporcionalmente pequenos comparados com o custo total de implantação dos sistemas de abastecimento de água. Por isso, utilizavam-se, até há pouco tempo, critérios determinísticos aproximados muito pouco rigorosos em termos teóricos.

Por outro lado, a necessidade crescente de água para abaste-

cimento faz com que os recursos hídricos existentes na Bacia do Alto Tietê se tornem insuficientes para o atendimento da demanda. Enseja-se nesta oportunidade que se otimize a produção de cada sistema de água, possibilitando a maximização sazonal de retirada de água do manancial, em períodos propícios, e a necessária cautela na operação nos períodos de estiagem severa.

O presente trabalho estuda o problema de atendimento de demanda sob a ótica de uma nova formulação simplificada, avaliando os níveis de risco nela implícitos e a validade das hipóteses simplificadoras adotadas.

HISTÓRICO

A Light, hoje Eletropaulo, concessionária de energia elétrica, concluiu em 1909 a construção da barragem de Guarapiranga, com o propósito de aumentar a energia gerável na usina de Santana do Parnaíba, situada no mesmo local da atual estrutura de controle hidráulico de Edgard de Souza.

Para este objetivo a operação do reservatório era relativamente simples: o enchimento do reservatório era realizado no período de novembro a maio e entre junho e setembro era gradualmente esvaziado. Sendo operado desta maneira, o reservatório aumentava a energia firme produtível na usina de Santana do Parnaíba, em cerca de dez milhões de quilowatts-hora por ano.

No período úmido, o reservatório era mantido em níveis bem abaixo do máximo, o que possibilitava a regularização das enchentes, utilizando-se, quando necessário, os descarregadores de fundo. Executou-se na barragem um vertedor auxiliar de superfície, cuja utilização era considerada pouco provável, e mesmo se uma enchente ocorresse não seriam observados grandes prejuízos na área à jusante, pois na época a várzea do rio Pinheiros era quase totalmente desabitada.

A finalidade precípua do reservatório passou a alterar-se em 1928 com a primeira adução de água para abastecimento público, permitida pela Light para até $4\text{ m}^3/\text{s}$, porém realizada com $1\text{ m}^3/\text{s}$, para a estação de tratamento de Teodoro Ramos. A seguir, em 1937, implantou-se, na quase totalidade, o atual sistema hidrelétrico de Cubatão, alterando-se completamente as condições hidráulicas de jusante, no canal retificado do rio Pinheiros, e procedeu-se ao desvio das águas do Guarapiranga para alimentar as turbinas da usina do Cubatão, o que signifcou desvio para fora da Bacia do Alto Tietê.

Posteriormente, em 1958, com o desenvolvimento da região, sua função foi progressivamente sendo desviada para o abastecimento de água, aumentando-se a vazão aduzida do Guarapiranga para uma nova estação de tratamento, no Alto da Boa Vista, de até $9,5\text{ m}^3/\text{s}$, mediante convênio entre o Estado de São Paulo e a Light. Este fato tornou obrigatória uma operação diferente do reservatório, na qual se admitia um volume para controle de cheias igual a 7% do volume total, isto é, durante o período úmido o volume contido no reservatório não ultrapassaria a 93% do volume total e durante o período seco o volume poderia atingir a 100% do volume total.

A encheente ocorrida em janeiro de 1976 contribuiu para modificar os critérios de operação, pois nessa época houve uma acumulação adicional no reservatório de $82,1 \times 10^6\text{ m}^3$, cerca de 42% de sua capacidade máxima, chegando o nível d'água a ultrapassar a cota do vertedor de superfície de 736,62m. Sendo assim, a Light adotou, como critério de operação e como limites de segurança para controle de cheias, os volumes de espera e, neste caso, a restrição imposta foi um limite superior ao nível

d'água do reservatório, decorrendo daí uma sensível diminuição na sua capacidade útil.

Nos anos de 1968/69, e mais recentemente em 1985/86, o abastecimento de água da Região Metropolitana de São Paulo chegou à beira do colapso total. As estiagens observadas nestes anos vieram introduzir, no "setor saneamento", novos critérios e conceitos para a operação do reservatório. Na estiagem ocorrida em 1968/69, o volume útil real atingido pelo reservatório, com todo o racionamento havido, foi de $21,427 \times 10^6 \text{ m}^3$, sendo que na estiagem de 1985/86 o volume útil atingido foi da ordem de $19,306 \times 10^6 \text{ m}^3$. Assim, regras específicas baseadas em curvas-guias foram estabelecidas para o controle de estiagem, as quais impõem como restrição um limite inferior ao nível do reservatório, verificando-se, também neste caso, outra sensível redução em sua capacidade útil.

Assim sendo, atualmente o reservatório de Guarapiranga deve atender às seguintes finalidades:

- abastecimento de água;
- controle de cheias;
- recreação e lazer;
- geração de energia elétrica,

supostamente na escala de prioridades acima apresentadas.

O estudo de sua operação deve, portanto, ter por objetivos: garantir, com um nível de risco especificado de falha no abastecimento, determinada vazão de retirada na estiagem de um ano qualquer; alocar volumes de espera em seu reservatório para fins de atenuação das ondas de enchentes, por ocasião do período úmido; destinar parte de seu volume para recreação e lazer; e, finalmente, possibilitar a destinação de sobras para a geração de energia elétrica através de recalque para a represa Billings.

OBJETIVOS

- Determinar a máxima vazão de retirada de água de um manancial baseando-se no conceito de vazão disponível, aqui definida como:

Vazão disponível (\bar{Q}_d): é aquela que considera uma retirada fixa ou variável de água do manancial, por uma duração de N meses consecutivos, associada a um risco especificado de não atendimento.

- Apresentar um modelo estocástico, com a finalidade de se efetuar previsões, destinado a explicar o comportamento das vazões mensais afluentes ao reservatório de Guarapiranga.

OBJETO

O manancial estudado foi o reservatório de Guarapiranga, que apresenta as seguintes características hidráulicas:

• área de drenagem natural:	631 km^2
• volume de armazenamento total:	$197,631 \times 10^6 \text{ m}^3$
• volume de armazenamento útil:	$191,610 \times 10^6 \text{ m}^3$
• área inundada:	$33,91 \text{ km}^2$
• nível mínimo operacional:	$726,37 \text{ m}$
• nível máximo operacional:	$736,62 \text{ m}$
• nível mínimo <i>minimorum</i> :	$723,12 \text{ m}$
• nível máximo <i>maximorum</i> :	$737,60 \text{ m}$
• vazão afluente (média de longo termo):	$11,8 \text{ m}^3/\text{s}$
• vazão captada Sabesp (período: 1972-1986):	$10,6 \text{ m}^3/\text{s}$
• vazão regularizada (período crítico: Mar/1963-Nov/1964):	$9,4 \text{ m}^3/\text{s}$

Dispõe de uma série histórica de vazões afluentes que compreende o período de setembro/1909 a agosto/1987, a qual é apresentada no quadro 1 (ver no fim deste trabalho, juntamente com todos os outros quadros e figuras).

A curva cota-volume total pode ser obtida através da expressão:

$$V = B_0 + B_1 H + B_2 H^2 + B_3 H^3 + B_4 H^4,$$

onde os valores dos coeficientes assumem os valores:

$$\begin{aligned} H &= Z - 724,00 \\ B_0 &= .4048116615 E-001 \\ B_1 &= .9244544997 E-001 \\ B_2 &= .9580734302 E + 000 \\ B_3 &= .3010567331 E-001 \\ B_4 &= -.6573192030 E-003 \end{aligned}$$

sendo:

$$V = \text{volume armazenado total } (10^6 \text{ m}^3)$$

$$Z = \text{cota do nível d'água (m)} (\text{Datum Light})$$

A figura 1 apresenta a localização do reservatório de Guarapiranga em relação à Região Metropolitana de São Paulo.

VOLUME DE ARMAZENAMENTO ÚTIL PARA A OPERAÇÃO DO RESERVATÓRIO DE GUARAPIRANGA

A operação dos reservatórios, projetados para fins conservativos, é feita procurando manter o nível de água tão elevado quanto possível. Entretanto, é usual, durante a época chuvosa, manter vazio uma parte do volume útil — o chamado volume de espera para controle de cheias — com o objetivo de receber o excesso d'água provocado pela afluência de uma cheia.

Método de cálculo de armazenamento útil

O método mais antigo que se tem notícia para dimensionamento de volume útil é o proposto por Rippl (1883), que utilizou a soma parcial da série histórica, definida por:

$$S(t) = \sum_{\tau=1}^t e_\tau \Delta t$$

onde:

e_τ é a vazão média afluente ao τ -ésimo intervalo de tempo
 Δt é o intervalo de discretização

O método de Rippl resolve o que poderia ser chamado de problema de "controle de estiagens". Analogamente, poder-se-ia enunciar o problema do "controle de estiagens" como sendo o de determinar o volume de armazenamento útil capaz de garantir, com um nível de risco especificado de não atendimento, determinada vazão de retirada, evitando, destarte, o colapso do reservatório. Neste caso, a restrição imposta é um limite inferior ao volume do reservatório, sendo a vazão disponível variável em função do próprio volume de armazenamento, de acordo com as características de demanda e/ou da capacidade de captação *versus* produção.

Como a série de vazões afluentes em alguma época estiada do futuro não será provavelmente igual a série alguma observada no passado, o volume de armazenamento que virá a ser necessário é uma variável aleatória V . Um possível critério para escolha de v^* — volume de armazenamento a ser alocado no início de cada época estiada — é fazer $v^* = \max(v(j), j = 1, n)$. Esta opção implicaria em estar preparado para o pior evento ocorrido ao longo dos n anos do registro histórico. O inconveniente dessa abordagem é que não se tem noção de qual a probabilidade de que num ano qualquer v^* não seja suficiente. Isto é, não se sabe qual a probabilidade de que V seja maior do que v^* . Alternativamente, pode-se optar pelo valor de v^* que satisfaça a igualdade $P(V > v^*) = \alpha$, em que α é uma probabilidade pré-especificada para falha no abastecimento na estiagem de um ano qualquer.

Sem perda de generalidade, caracterizou-se em estudos anteriores que se poderia operar o reservatório de Guarapiranga por doze meses, visto que, em um ano médio, ocorrem afluências que propiciam um volume 94% maior que sua capacidade útil de armazenamento. Sendo assim, pesquisou-se, a partir do

mês inicial de interesse para a operação, quais os volumes de armazenamento úteis necessários ao atendimento de uma determinada vazão de retirada.

Particularizando e adaptando o método de Rippl para uma duração pré-fixada, teremos:

$$N \\ v^* = VAUN = \sum_{i=1}^N (q_i - q_d) \times 2,6298 (10^6 m^3)$$

onde:

q_i = vazão afluente natural (m^3/s)

q_d = vazão disponível (m^3/s)

VAUN = volume de armazenamento útil necessário ($10^6 m^3$)

$2,6298 \times 10^6$ número de segundos contidos em um mês médio, incluindo o ano bissexto.

Para exemplificar o procedimento de cálculo, apresenta-se no quadro 2 a somatória de vazões do mês de referência na seqüência de doze meses consecutivos, incluindo o próprio, para os dez primeiros eventos, já classificados em ordem crescente. Assim, ao observar no quadro a convenção JAN + DEZ, esta significa a somatória de vazões afluentes da seqüência de doze meses consecutivos de janeiro a dezembro. Analogamente, DEZ + NOV significa a somatória de vazões afluentes da seqüência de doze meses consecutivos de dezembro a novembro.

A seguir, foram avaliados os volumes de armazenamento úteis necessários, para 19 vazões de retirada, de $14,0$ a $5,0 m^3/s$, discretizadas de $0,5$ em $0,5 m^3/s$. O quadro 3 apresenta os VAUN para a seqüência SET + AGO, já ordenados como arranjo crescente, no qual é dado observar a presença de valores negativos e positivos para determinada vazão simulada. A ocorrência do sinal negativo (-) significa *déficit*, portanto haverá necessidade de armazenamento, enquanto que a ocorrência do sinal positivo (+) significa *superávit*, portanto ocorrerá vertimento.

Ajuste de distribuição de probabilidades

O conjunto $V(1), V(2), \dots, V(j), \dots, V(n)$ de volumes de armazenamento para cada um dos n anos da série histórica pode ser visto como uma amostra aleatória de V . A determinação de v^* pode ser feita através do ajuste de uma distribuição de probabilidades a esta amostra. Por exemplo, a figura 2 mostra as distribuições acumuladas para o volume de armazenamento no reservatório de Guarapiranga, quando a vazão disponível é igual a $11,5 m^3/s$, para a seqüência setembro + agosto. Nota-se que existe uma massa de probabilidade acima de zero, significando haver uma probabilidade finita de que em um ano qualquer não haja necessidade alguma de volume de armazenamento.

A aplicação de seis distribuições de probabilidade às séries de volumes ((-)armazenamento/(+)vertimento) permite concluir acerca da superioridade da distribuição Normal (2 parâmetros) em relação à log-Normal (2 parâmetros), Pearson tipo III, Gumbel EV-1, Gumbel EV-2 e Gumbel EV-3. É interessante observar que os volumes de armazenamento produzidos pelos outros modelos de distribuição são sistematicamente inferiores aos valores estimados pela distribuição Normal, conforme se pode constatar no quadro 4. A inspeção visual destes ajustes pode ser apreciada nas figuras 2 a 7.

Neste caso, qual das distribuições deveria ser empregada?

A questão não é simples de ser resolvida, visto que nenhuma das distribuições pode ser recusada por um teste de hipótese de bondade de ajustamento. Aplicou-se o teste do χ^2 (quadrado) e o Kolmogorov-Smirnov, obtendo-se resultados altamente significativos para a distribuição Normal. Assim, admitindo ser normal a distribuição dos volumes relativos a N meses consecutivos, calcularam-se para todas as seqüências jan + dez, fev + jan, ..., nov + out, dez + nov, os volumes de armazenamento/vertimento para as vazões de $14,0$ a $5,0 m^3/s$, discretizadas de $0,5$ em $0,5 m^3/s$.

Ressalte-se que a adoção da distribuição Normal em detrimento das demais não se deve tão somente ao teste de aderência, mas também ao fato de que o ajuste teórico encontrado por esta distribuição resulta na envoltória dos pontos observados de volumes de armazenamento e na quase totalidade dos pontos observados de volumes de vertimento. Assim, como os volumes produzidos pelos outros modelos de distribuição não conseguem predizer, para intervalos de recorrência razoáveis, os eventos de passado ainda recentes, como os ocorridos em 1968/69, 1954/55 e 1963/64, já classificados em seu grau crescente de severidade, para a duração de doze meses consecutivos, optou-se pela distribuição Normal, embora a rigor quaisquer dos volumes produzidos pelos outros modelos utilizados pudessem fornecer os volumes de armazenamento.

Análise dos resultados

Nas figuras 8 a 12, podem ser avaliados os volumes necessários a serem alocados para o controle de estiagens, para os riscos de 1%, 2%, 5%, 10% e 20%, respectivamente, no reservatório de Guarapiranga. Estes volumes também podem ser encontrados nos quadros 5 a 10.

O risco foi avaliado pela fórmula:

$$R = 1 - (1 - \frac{1}{T})^N \times 100 (\%)$$

onde:

R = risco de não atendimento (%)

T = período de retorno ou intervalo de recorrência (anos)

N = duração da operação (anos)

Como era de se esperar, à medida que a vazão disponível diminui, a operação fica mais relaxada, necessitando de volumes de armazenamento v^* cada vez menores. Pelas mesma razão, aumenta a freqüência dos anos em que a existência de um volume de armazenamento não faz diferença alguma (P cresce).

No quadro 11 apresenta-se o volume de armazenamento útil permitido pela Eletropaulo para o ano de 1987, bem como as vazões disponíveis, admitindo-se um risco de não atendimento de 5%, isto é, o volume alocado suprirá a vazão pretendida, a partir do mês de origem da operação, caso ocorra uma estiagem de doze meses consecutivos de duração e período de retorno de vinte anos.

MODELO PARA ACOMPANHAMENTO MENSAL E PREVISÃO DO VOLUME DO RESERVATÓRIO DE GUARAPIRANGA

A série de vazões afluentes ao local de interesse pode ser vista como sendo o resultado de um "sorteio" efetuado pela Natureza. A série observada ("sorteada") no passado, a chamada série histórica, não será exatamente repetida no futuro. Por esta razão, é preciso descobrir o mecanismo pelo qual a Natureza executa esses sorteios. Avançar hipóteses sobre as equações que regem este mecanismo é o mesmo que construir um modelo estocástico para as vazões.

Se o modelo estocástico estiver perfeitamente caracterizado, será possível gerar séries sintéticas de vazões. Estas séries sintéticas serão diferentes entre si e também diferentes da série histórica. No entanto, a hipótese subjacente a esta abordagem é que, em lugar da série histórica, qualquer uma das sintéticas poderia ter sido sorteada no passado. O mesmo pode ser dito com relação ao futuro. Podemos dizer que a série histórica e as séries sintéticas formam um conjunto de elementos igualmente prováveis.

A utilidade das séries sintéticas pode melhor ser apreciada através de um exemplo. Admita-se que haja interesse em deter-

minar a distribuição de probabilidades dos volumes de armazenamento úteis, e que a série histórica tenha n anos, sendo n um número pequeno. Uma maneira de se resolver este problema é ajustar uma distribuição de probabilidades para a amostra de n volumes, conforme visto no item 5.2. Outra maneira é utilizar a totalidade da série histórica para definir o modelo estocástico. Por sua vez, este modelo pode ser utilizado para produzir uma série de m anos, sendo m um número tão grande quanto se deseja.

A disponibilidade de uma longa série sintética pode dar impressão de que é possível ter confiança absoluta nos resultados encontrados com seu emprego. Entretanto, a utilização de séries geradas não cria informação alguma. Afinal, o processo de seleção de um modelo e de estimativa de seus parâmetros é feito a partir de inferência com a série histórica. Portanto, a utilização do modelo estocástico de vazões deve ser encarado simplesmente como uma maneira eficiente de manipular a informação existente. Se a série histórica das vazões afluentes for pouco representativa ao local de interesse, assim também o serão as séries sintéticas.

Uma premissa para a aplicação de um modelo estocástico é de que a bacia hidrográfica não esteja sofrendo modificações. Isto significa que a distribuição de probabilidades de vazão afluentes num mês qualquer, setembro por exemplo, será sempre a mesma, ano após ano. Mais ainda, a imutabilidade da bacia fará com que a distribuição conjunta das vazões afluentes em todos os meses do ano não se altere com o passar do tempo. Na realidade, não existe uma "bacia hidrográfica estática", mesmo que se considere apenas a evolução natural, sem intervenções do homem. Além disso, o próprio clima sofre variações, conforme o atestam as diversas eras glaciais. No entanto, essas transformações ocorrem lentamente, numa escala de tempo que em nada afetam as obras de Engenharia que se façam, digamos, para os próximos cem anos.

De maior relevância para a Hidrologia Aplicada são as supostas flutuações cíclicas, com período de poucos anos, que ocorrem no clima. Diversos pesquisadores têm analisado séries anuais de precipitação e de vazão com o intuito de, em primeiro lugar, detectar alguma periodicidade, e em segundo lugar determinar a origem de tal periodicidade (caso exista). É compreensível que em algumas ocasiões a série examinada apresente um componente cíclico tão nítido que não seja possível ignorá-lo sob o ponto de vista estatístico. Os autores já tiveram experiências deste tipo ao analisar a série de vazões anuais do Rio Guarapiranga, no reservatório de Guarapiranga, quando se detectou componentes cíclicos de períodos igual a 8 anos. A equação que se chegou naquela oportunidade foi:

$$y(t) = 11,58 + 0,505 \cos \left(\frac{2\pi(t-1909)}{8} \right) +$$

$$+ 1,085 \sin \left(\frac{2\pi(t-1909)}{8} \right) \pm 2 \text{ (m}^3/\text{s)}$$

O difícil é estabelecer relações de causa e efeito para estes fenômenos. As tentativas de relacioná-los com a aparição de manchas solares, que são fenômenos cíclicos com período médio de onze anos, não têm sido bem sucedidas. Em consequência, essas possíveis periodicidades têm sido ignoradas na elaboração de modelos estocásticos, atitude que também será adotada neste estudo.

Durante os anos de 1969 e 1970 o Consórcio Nacional de Engenheiros Consultores (CNEC), através de estudos efetuados para a Companhia Metropolitana de Água de São Paulo (Comasp), sob a denominação de *Estudo do regime hidrológico do reservatório de Guarapiranga*, desenvolveu um modelo estocástico, composto por um sistema de doze equações, destinado a explicar o comportamento das vazões mensais afluentes ao reservatório de Guarapiranga.

Para a determinação do sistema de equações, adotou-se a forma especificativa hiperplana do tipo:

$$y_t = \alpha_0 + \sum_{i=1}^n \alpha_i y_{t-i} + \varepsilon$$

onde:

$$y_t = \text{vazão no mês } t$$

α_0 a α_i são os parâmetros da função

$i = (1, 2, \dots, 11)$ indica o grau de defasagem da função, sendo o mesmo determinado por teste de hipótese.

ε é uma componente aleatória sempre presente em modelos lineares de regressão e engloba erros de medição, de leitura e outros fatores físicos. Assume-se a hipótese de normalidade de sua distribuição do erro, com média zero e variância aproximadamente constante.

O ajuste dos coeficientes $\alpha_0, \dots, \alpha_i$ foi feito utilizando-se a técnica de regressão linear múltipla pelos mínimos quadrados, com inclusão das variáveis "par e passo" (*stepwise*).

O emprego destas equações fica, por outro lado, condicionado à aferição dos coeficientes, pois estas foram obtidas com as informações quantitativas referentes ao período de 1914 a 1958. Entretanto, reestimou-se, à guisa de comparação a equação relativa ao mês de outubro, para o período de 1910 a 1986. Os resultados a que se chegou foram os seguintes:

— Equação estimada com os dados do período 1914/1958
 $OUT = 6,05498 + 0,42200 (SET) + 2,88504 \xi$

— Equação reestimada com os dados do período 1910/1986
 $OUT = 5,63007 + 0,51484 (SET) + 3,50569 \xi$

Um teste de comparação de retas de regressão mostrou que as estimativas dos desvios padrão residuais não diferiam entre si nas duas equações, bem como os outros dois parâmetros da função não divergiam significativamente.

Isto posto, e apenas à guisa de ilustração, repetem-se as equações estocásticas do processo de geração, tipo Cadeia de Markov, que serão utilizadas para a previsão de vazões afluentes no período de setembro de 1987 a agosto de 1988:

$$\begin{aligned} JAN &= 11,58333 + 0,41792 (DEZ) + 5,86439 \xi \\ FEV &= 18,77402 + 0,49163 (JAN) - 0,94111 (JUN) + \\ &+ 8,02910 \xi \\ MAR &= 11,17830 + 0,28649 (FEV) + 6,62331 \xi \\ ABR &= 2,95366 + 0,25401 (MAR) + 0,41722 (NOV) + \\ &+ 4,19307 \xi \\ MAI &= 1,23141 + 0,34803 (ABR) + 0,23209 (JAN) + \\ &+ 0,29318 (SET) - 0,34941 (JUN) + 2,83418 \xi \\ JUN &= 4,98992 + 0,46044 (MAI) + 0,10762 (FEV) - \\ &- 0,15035 (JAN) + 2,09143 \xi \\ JUL &= 3,59681 + 0,46154 (JUN) + 1,83718 \xi \\ AGO &= 1,68422 + 0,55040 (JUL) + 0,17031 (MAI) + \\ &+ 1,93156 \xi \\ SET &= 1,92316 + 0,96901 (JUL) + 3,94023 \xi \\ OUT &= 6,05498 + 0,42200 (SET) + 2,88504 \xi \\ NOV &= 6,59812 + 0,36936 (SET) + 0,40355 (MAI) - \\ &- 0,18209 (MAR) + 2,84238 \xi \\ DEZ &= 5,52642 + 0,54821 (MAI) + 0,27425 (JAN) - \\ &- 0,54526 (OUT) + 0,39169 (SET) + 4,56077 \xi \end{aligned}$$

Note-se que nestas equações estocásticas comparece, como não poderia deixar de ser, uma componente aleatória ξ que tem distribuição normal de média zero e variância unitária.

Há que se ressaltar que os modelos desenvolvidos anteriormente admitem, mesmo com um determinado grau de risco, que o período crítico poderá se reproduzir a qualquer momento, em um ano qualquer. Tal fato não corresponde à realidade física do fenômeno, pois a seqüência cronológica, isto é, a persistência dos eventos é, em geral, o fator crítico, tal como acontece com os períodos críticos ou com período de estiagem.

Previsões de vazões para setembro/1987 a agosto/1988

O presente item tem por objetivo proceder à avaliação da situação do reservatório de Guarapiranga, tendo em vista o abastecimento de água à Região Metropolitana de São Paulo no período que vai de setembro de 1987 a agosto de 1988.

Em setembro de 1987, o volume útil armazenado em Guarapiranga era da ordem de 87,2%, o que correspondia a $167,096 \times 10^6 \text{ m}^3$.

Conforme comentários efetuados no item anterior, as equações do processo estocástico, utilizadas para a atual previsão, foram mantidas e são as mesmas contidas no item 6. Partindo-se de uma condição inicial de previsão necessária, aqui definida como as vazões referentes aos meses de janeiro, março, maio, junho e julho de 1987 — valores estes encontrados no quadro 12 — a previsão pode ser realizada. Os seus valores vêm apresentados no quadro 13.

A componente σ , de distribuição normal padronizada, foi tomada nos valores $> 1,959964$ e $> 1,644854$ correspondendo, respectivamente, aos níveis de significância de 0,05 e 0,10, os quais permitem construir o intervalo de confiança para a previsão, que contém 95 e 90% de probabilidade de acerto da previsão, o verdadeiro valor do evento que deverá acontecer nos meses em questão. Os intervalos de previsão a que se chegou vêm apresentados no quadro 13. Cabe salientar que, a não utilização dos níveis de significância ($\alpha \leftarrow$) implícitos, a cada mês, deve-se exclusivamente à indisponibilidade, ainda, de um estudo neste sentido. Sendo assim, optou-se pelos níveis de significância indicados acima.

Como se pretende maximizar o uso da água, sazonalmente, e considerando-se que a melhor informação sobre o futuro é a relativa ao passado mais próximo, sugere-se que a cada mês se efetuem novas previsões, o que não invalida o exercício de simulação realizado neste item.

Os valores calculados indicam ser o ano hidrológico de 1987/88, pelo menos levando-se em conta o ponto médio dos intervalos, um ano relativamente bom, pois a média deste ponto é de $10,5 \text{ m}^3/\text{s}$, estando cerca de 13% acima da média de 1985/86 e 12% abaixo da média de longo termo, que é de $11,8 \text{ m}^3/\text{s}$.

Deve-se ressaltar que as previsões em curso ficaram um pouco prejudicadas em decorrência do valor extremamente alto verificado em junho de 1987, que foi de $27,3 \text{ m}^3/\text{s}$ e que tem uma probabilidade de ocorrência da ordem de 2,5%. De fato, a inspeção da série histórica no período de 1910 a 1987 (78 anos) indica apenas um valor maior ou igual a $27,3 \text{ m}^3/\text{s}$, que é o relativo ao ano de 1983, e de $40,3 \text{ m}^3/\text{s}$, mostrando ser aquele valor correspondente a uma vazão realmente excepcional, com pequena probabilidade de ocorrência mas que, ocorreu em 1987, prejudicando em parte as previsões.

OPERAÇÃO DO RESERVATÓRIO DE GUARAPIRANGA PARA O PERÍODO SETEMBRO/87 A AGOSTO/88

De posse da previsão das vazões médias mensais afluentes ao reservatório para o período de SET/87 a AGO/88, simulou-se a operação para o mesmo período, com retiradas variáveis e sugeridas pelas curvas-guias, dado o risco de não-atendimento e o volume útil armazenado no início do mês da operação.

Para essa simulação, admitiu-se, para controle de cheias, os volumes de espera estabelecidos pela Eletropaulo, edição 1987, os quais, neste estudo, serão considerados válidos para o ano de 1988.

Os resultados obtidos na simulação encontram-se no quadro 14 e ilustrados na figura 13, onde se pode verificar que:

- ocorrendo os valores correspondentes ao ponto médio da previsão, não haverá problema para o abastecimento, mesmo com a retirada média no período de $12 \text{ m}^3/\text{s}$. Em janeiro haverá necessidade de se des-

pejar água através do canal de Guarapiranga. O reservatório atingirá, ao final da previsão, o volume útil de aproximadamente $70 \times 10^6 \text{ m}^3$, o que garantirá para o período subsequente, mesmo na ocorrência de uma estiagem de 20 anos de período de retorno e duração de doze meses, uma retirada de $9,0 \text{ m}^3/\text{s}$.

CONCLUSÕES

As conclusões serão apresentadas na mesma ordem em que os assuntos foram abordados neste estudo.

Volume de armazenamento útil para controle de estiagens

O controle de estiagens de um reservatório pode ser alcançado criando um volume de armazenamento para tal fim. Entretanto, a alternativa encontrada para diminuir este volume e aumentar a disponibilidade de água foi a de operar o reservatório com riscos pré-fixados de não-atendimento, sugeridos pelas curvas-guias, evitando-se, destarte, o seu esvaziamento total. Em geral estas curvas dão condições para que o nível d'água no reservatório atinja uma cota mais baixa, permitindo que a vazão de retirada seja maior. Quanto maior for a vazão disponível, menor serão as despesas investidas em ampliação dos sistemas existentes para aumentar sua capacidade de produção, quando cotejadas com a implantação de um novo sistema, e maiores os ganhos sociais em termos de população bem abastecida. Quanto maior o volume de armazenamento alocado para uma estiagem que não ocorre, maiores os danos tanto social como econômico, pois significa parcela da população não abastecida e há que se investir em novas captações para compensar o volume d'água, que não será produzido devido à existência deste volume.

Uma amostra aleatória de volumes de armazenamento pode ser obtida, aplicando-se um procedimento análogo ao diagrama de Rippl, a cada período, com uma duração pré-fixada da série histórica. Este método revelou ser um procedimento satisfatório para produzir a variação temporal do volume de armazenamento ao longo do período seco. Este resultado é importante porque a provável redução do volume de armazenamento, ao final do período seco, facilita o enchimento do reservatório no início do período úmido sem ter que se despejar volumes excessivos, no canal do Guarapiranga, nos meses de dezembro, janeiro, fevereiro e março.

O método, aqui exposto, torna possível a consideração explícita do comportamento futuro do operador do reservatório quando confrontado com as novas previsões de afluências. O método permite que se obtenham os volumes de armazenamento variantes não só ao longo do período seco, mas, também, classificados de acordo com a previsão do regime de afluências (seco, médio, úmido...).

* O período (horizonte de planejamento) de operação do reservatório e a vazão disponível estão condicionados, basicamente pelos seguintes fatores:

- regime de afluências;
- características de armazenamento do reservatório — intra-anual ou pluri-anual;
- mês de referência;
- e também pelo risco do não atendimento, estabelecidos pelo planejamento operacional.

A figura 14 apresenta a disponibilidade hídrica, em função do risco e do critério de operação, no reservatório de Guarapiranga.

Análise de freqüência dos volumes de armazenamento/vertimento

Os diversos métodos de análise de freqüência de volumes diferem pouco nos erros cometidos na estimativa de volumes com períodos de retorno semelhante ao número de anos da sé-

rie histórica. Nestes casos, todos os métodos funcionam como procedimento de interpolação e/ou de curta extração. Entretanto, para períodos de retorno maiores, como os utilizados para dimensionamento do volume útil, os estudos indicaram que a função de distribuição Normal resultou em menores erros de estimativa e na função mais representativa de volumes a serem alocados.

A distribuição de probabilidades que melhor se ajuste a uma amostra de volumes de armazenamento/vertimento anuais não é, necessariamente, aquela que resultará em menores erros na estimação de um volume e alocar/verter com grande tempo de recorrência. Na realidade, um bom ajuste retrata apenas uma aderência para o domínio em que existam observações de volumes anuais, usualmente associados com pequenos intervalos de recorrência.

Modelo previsional de vazões afluentes mensais

O modelo proposto refere-se ao conhecimento do comportamento do reservatório de Guarapiranga através do estudo do seu regime hidrológico. O estudo estatístico do regime, representado por sua vazão média mensal, fornece elementos para a previsão e garante a situação futura mais provável do reservatório.

Dado o caráter altamente aleatório das vazões do rio em questão — o que, aliás, não é de se estranhar em bacias hidrográficas com pequena área de drenagem — sugere-se que as previsões sejam utilizadas com cautela.

RECOMENDAÇÕES

Ao "setor saneamento" compete ainda dar o seguintes passos:

- Aperfeiçoar o modelo previsional de vazões afluentes mensais aqui apresentado, a fim de que se possa fixar, com melhor critério, o risco de não-atendimento, tornando-o sazonal, pois ficou patente que no período úmido os riscos podem assumir valores relativamente altos.
 - Desenvolver um modelo para a alocação do volume de espera, pois manter um volume de espera igual a $v(i)$ constante do primeiro ao h -ésimo dia, para absorver a cheia ocorrida no i -ésimo ano é um exagero. Na realidade, o volume de espera só precisa ser igual a este valor no dia imediatamente antecedente ao início da chuva máxima de duração de (i) dias.
 - Ter em mente que o horizonte de planejamento da opera-

ção, a cada mês de referência, estende-se por doze meses consecutivos.

REFERÊNCIAS

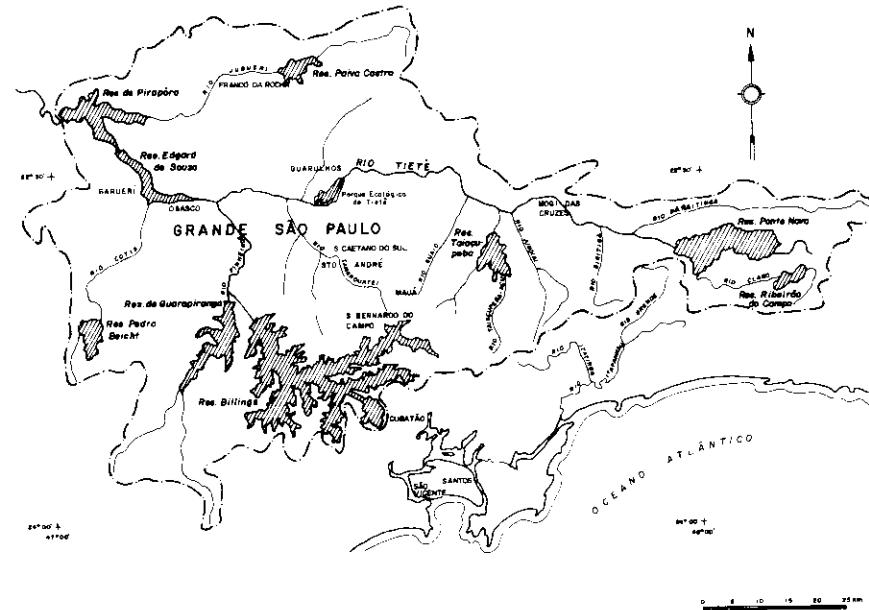
- 1 — Helou, L.C., Silva, L.G. — *Estudo de operação do reservatório de Guarapiranga — Versão I*, 14.º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, vol. 2, tomó III, São Paulo, 1987.
 - 2 — Kelman, J., — *Cheias e Aproveitamentos Hidrelétricos*, tese para provimento de cadeira de Prof. Titular do Departamento de Hidráulica e Saneamento, Setor de Hidrologia e Aproveitamentos Hidrelétricos da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1983.
 - 3 — CNEC — Consórcio Nacional de Engenheiros Consultores — *Estudo do regime hidrológico do reservatório de Guarapiranga*, São Paulo, 1969.
 - 4 — CNEC — Consórcio Nacional de Engenheiros Consultores — *Estudo de operação do reservatório de Guarapiranga*, São Paulo, 1970.
 - 5 — Ang. A.H.S., Tang, W.H. — *Probability Concepts in Engineering, Planning and Design*, John Wiley & Sons, Inc, 1975.
 - 6 — Raudkivi, Arved Jaan — *Hidrology — An Advanced Introduction to Hydrological Processes and Modelling*, First Edition, Pergamon Press, 1979.
 - 7 — Sabesp — Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo — *Níveis de água notáveis nas represas que abastecem a Região Metropolitana de São Paulo*, São Paulo, 1986.
 - 8 — Light — Serviços de Eletricidade S.A. — Barragem do Guarapiranga — Hidrometeorologia, São Paulo, 1978.

Os autores externam seus agradecimentos a todas as pessoas que, de forma direta ou indireta, os subsidiaram na elaboração deste trabalho, seja pela troca de idéias, seja pela troca de informações.

Em particular, são gratos ao Eng.º João Luiz Barreiros de Araújo, pelo incentivo sempre pronto, orientando-os na criação de modelos que otimizem a real e múltipla utilização a que se destinam os recursos hídricos; ao Prof. Dr. Roberto Max Hermann pelo auxílio recebido através de críticas construtivas a este trabalho, e quanto à metodologia estatística adotada.

FIGURA 1

Localização do reservatório de Guarapiranga em relação à Região Metropolitana de São Paulo



QUADRO 1

Deflúvios (m^3/s) afluentes ao reservatório Guarapiranga — Parâmetros estatísticos

*	ANO	HIDROL*	SET	OUT	NOV	DEZ	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	MEDIA	DESVIO	MOMENTO	MOMENTO	
*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
*	1909/1910	*	6.80*	8.18*	9.72*	10.53*	11.43*	23.30*	16.68*	5.72*	3.41*	3.21*	5.61*	5.10*	9.14*	5.88*	3.24*	1.12*	
*	1910/1911	*	6.34*	14.23*	31.09*	10.15*	27.27*	14.79*	15.07*	4.44*	3.51*	4.35*	7.00*	11.48*	12.48*	8.87*	2.49*	.90*	
*	1911/1912	*	4.75*	15.15*	9.29*	17.04*	16.20*	22.38*	15.65*	14.21*	6.37*	5.46*	5.65*	6.52*	11.56*	5.89*	1.51*	.26*	
*	1912/1913	*	8.24*	10.79*	8.86*	6.03*	12.42*	4.52*	8.29*	3.31*	6.56*	6.15*	9.80*	6.56*	7.63*	2.62*	1.97*	.16*	
*	1913/1914	*	4.21*	5.66*	8.07*	6.96*	7.33*	15.90*	14.27*	7.35*	4.88*	7.70*	4.08*	3.64*	7.50*	3.87*	2.82*	1.07*	
*	1914/1915	*	4.25*	4.75*	12.61*	15.20*	19.33*	5.02*	3.92*	5.07*	3.64*	5.90*	4.50*	7.32*	5.30*	2.76*	1.19*		
*	1915/1916	*	5.37*	7.01*	13.75*	7.51*	12.18*	9.19*	20.36*	7.29*	7.42*	3.89*	3.52*	3.33*	8.40*	4.96*	3.20*	1.06*	
*	1916/1917	*	3.61*	8.00*	7.17*	22.65*	17.91*	20.26*	10.60*	9.94*	6.49*	6.28*	7.96*	7.45*	10.69*	6.12*	2.08*	.85*	
*	1917/1918	*	8.89*	11.45*	6.91*	9.22*	14.73*	11.76*	10.43*	9.19*	8.76*	7.44*	9.29*	7.82*	9.73*	2.15*	2.93*	.83*	
*	1918/1919	*	9.13*	9.81*	7.78*	10.34*	10.90*	29.98*	17.26*	7.94*	7.38*	11.15*	5.70*	6.05*	11.12*	6.67*	5.46*	1.83*	
*	1919/1920	*	7.90*	8.86*	8.74*	9.88*	14.00*	20.12*	15.38*	10.31*	6.89*	6.56*	7.28*	5.04*	10.08*	4.35*	2.83*	.99*	
*	1920/1921	*	14.44*	9.12*	12.73*	8.78*	10.37*	34.95*	10.84*	9.62*	7.02*	8.90*	6.31*	5.76*	11.57*	7.78*	6.87*	2.18*	
*	1921/1922	*	9.26*	6.91*	7.05*	7.11*	24.11*	13.38*	33.32*	14.36*	8.09*	9.22*	6.07*	6.97*	12.15*	8.39*	3.80*	1.46*	
*	1922/1923	*	7.36*	8.01*	8.42*	6.38*	21.33*	25.08*	34.16*	16.36*	11.05*	10.63*	8.56*	9.60*	13.91*	8.67*	2.88*	1.12*	
*	1923/1924	*	15.86*	16.59*	10.34*	8.64*	13.22*	13.44*	9.21*	7.31*	5.86*	7.08*	4.78*	4.59*	9.74*	4.17*	1.53*	.33*	
*	1924/1925	*	6.18*	7.29*	7.58*	11.09*	11.31*	12.37*	9.18*	7.14*	9.46*	6.51*	5.82*	5.08*	8.25*	2.39*	1.57*	.37*	
*	1925/1926	*	6.37*	6.95*	14.17*	17.31*	25.28*	13.59*	7.48*	11.23*	6.44*	7.06*	9.36*	11.47*	11.39*	5.63*	3.39*	1.14*	
*	1926/1927	*	8.93*	7.02*	12.89*	12.91*	21.60*	26.05*	21.26*	11.83*	7.66*	11.11*	7.90*	8.65*	13.15*	6.35*	2.10*	.84*	
*	1927/1928	*	19.17*	10.91*	11.43*	11.07*	12.78*	24.25*	28.51*	18.59*	7.34*	5.99*	7.62*	9.15*	13.90*	7.15*	2.11*	.75*	
*	1928/1929	*	7.93*	8.21*	8.08*	14.60*	41.77*	46.32*	28.89*	11.41*	22.86*	11.04*	10.82*	9.97*	18.49*	13.56*	2.36*	1.01*	
*	1929/1930	*	12.69*	9.31*	13.65*	32.98*	26.82*	23.32*	12.62*	13.55*	10.99*	8.14*	8.13*	9.92*	15.18*	8.06*	2.57*	1.05*	
*	1930/1931	*	7.53*	7.73*	13.42*	23.53*	24.24*	29.12*	25.20*	11.16*	9.45*	8.75*	5.83*	9.26*	14.60*	8.38*	1.45*	.56*	
*	1931/1932	*	13.58*	13.82*	8.87*	22.99*	24.20*	14.61*	24.00*	9.43*	10.26*	9.92*	7.29*	9.25*	14.02*	6.26*	1.70*	.68*	
*	1932/1933	*	7.32*	11.35*	8.64*	14.65*	13.51*	9.87*	9.04*	6.29*	5.57*	6.85*	6.17*	4.44*	8.64*	3.20*	1.91*	.55*	
*	1933/1934	*	7.29*	9.13*	5.99*	9.00*	20.02*	26.77*	19.44*	13.09*	8.50*	8.03*	6.90*	6.90*	11.75*	6.70*	2.56*	1.04*	
*	1934/1935	*	7.70*	7.46*	6.90*	24.50*	12.91*	26.67*	16.30*	11.80*	7.20*	10.30*	8.90*	8.36*	12.42*	6.76*	2.64*	1.10*	
*	1935/1936	*	15.70*	18.40*	11.39*	12.04*	15.02*	10.20*	17.72*	9.05*	6.56*	6.52*	5.93*	8.56*	11.42*	4.40*	1.46*	.27*	
*	1936/1937	*	12.40*	9.06*	9.88*	17.54*	22.95*	23.75*	11.62*	21.58*	18.84*	11.20*	7.04*	9.83*	14.44*	5.93*	1.34*	.34*	
*	1937/1938	*	7.73*	12.66*	19.70*	11.13*	12.13*	12.30*	13.58*	25.68*	10.21*	8.29*	8.00*	11.17*	12.71*	5.19*	3.70*	1.30*	
*	1938/1939	*	12.20*	11.21*	13.21*	16.84*	16.99*	11.15*	9.00*	8.58*	7.48*	5.82*	5.33*	4.28*	10.17*	4.21*	1.71*	.25*	
*	1939/1940	*	5.52*	4.65*	12.80*	14.52*	24.81*	31.45*	14.62*	8.06*	7.30*	4.83*	3.87*	4.54*	11.41*	8.84*	2.80*	1.07*	
*	1940/1941	*	6.61*	9.74*	10.89*	10.30*	9.24*	11.98*	7.93*	5.80*	4.34*	5.92*	6.48*	8.10*	12.35*	1.59*	0.99*		
*	1941/1942	*	10.89*	10.34*	14.32*	13.05*	13.09*	38.31*	16.27*	17.15*	6.97*	11.25*	12.09*	6.13*	14.16*	8.27*	6.18*	1.93*	
*	1942/1943	*	7.06*	5.92*	8.06*	15.40*	13.40*	13.12*	11.24*	6.07*	4.89*	7.22*	4.17*	6.53*	9.59*	3.72*	1.67*	.57*	
*	1943/1944	*	6.01*	19.78*	11.88*	10.08*	10.98*	26.99*	21.95*	11.17*	6.62*	5.60*	6.05*	4.29*	11.78*	7.32*	2.20*	.88*	
*	1944/1945	*	4.33*	4.65*	13.23*	9.95*	13.63*	27.60*	19.64*	8.55*	6.83*	15.05*	10.78*	6.74*	11.75*	6.74*	3.00*	.95*	
*	1945/1946	*	6.75*	7.30*	6.72*	10.22*	21.05*	10.98*	24.54*	9.50*	7.36*	9.68*	6.45*	4.89*	10.45*	6.08*	3.28*	1.33*	
*	1946/1947	*	3.97*	10.78*	10.30*	7.39*	21.04*	20.18*	19.78*	11.24*	10.34*	10.55*	9.94*	9.80*	12.11*	5.34*	1.95*	.55*	
*	1947/1948	*	13.38*	10.36*	13.37*	24.70*	16.18*	19.11*	23.33*	12.12*	13.18*	9.97*	10.30*	11.04*	14.75*	5.07*	2.16*	.86*	
*	1948/1949	*	7.97*	7.86*	10.20*	9.36*	17.78*	23.81*	13.79*	13.54*	8.47*	8.83*	8.14*	5.57*	11.28*	5.17*	3.26*	1.16*	
*	1949/1950	*	7.41*	6.20*	8.56*	21.02*	20.54*	25.19*	19.22*	26.57*	13.40*	12.37*	10.90*	6.61*	14.83*	7.36*	1.38*	.27*	
*	1950/1951	*	5.94*	14.40*	10.75*	11.13*	21.85*	14.30*	12.93*	9.95*	7.61*	6.37*	7.01*	6.13*	10.70*	4.69*	3.00*	.91*	
*	1951/1952	*	5.55*	8.48*	8.89*	9.91*	11.17*	24.28*	14.91*	6.47*	9.58*	13.84*	9.48*	7.67*	10.85*	5.02*	4.49*	1.46*	
*	1952/1953	*	9.66*	8.96*	11.71*	6.09*	8.31*	15.37*	7.53*	11.96*	8.13*	7.17*	7.25*	7.58*	9.14*	2.65*	2.94*	1.02*	
*	1953/1954	*	6.81*	8.39*	9.58*	11.46*	13.23*	15.49*	11.79*	10.78*	10.19*	7.63*	5.26*	4.59*	9.60*	3.23*	1.89*	.08*	
*	1954/1955	*	4.16*	11.52*	4.50*	4.95*	14.42*	6.23*	6.84*	4.69*	3.90*	4.57*	5.38*	7.09*	6.52*	3.24*	3.52*	1.37*	
*	1955/1956	*	4.54*	5.47*	8.56*	9.15*	6.72*	15.74*	23.36*	12.77*	13.90*	15.82*	10.83*	11.75*	11.55*	5.28*	2.63*	.62*	
*	1956/1957	*	9.12*	13.30*	8.34*	9.56*	17.80*	11.97*	18.12*	12.87*	7.16*	6.95*	13.46*	10.32*	11.58*	3.73*	1.88*	.46*	
*	1957/1958	*	26.32*	22.77*	13.90*	13.22*	13.11*	26.22*	18.03*	22.57*	16.04*	11.59*	8.59*	17.58*	5.84*	1.54*	.17*		
*	1958/1959	*	12.53*	13.31*	16.73*	21.15*	21.25*	15.45*	16.91*	12.16*	9.15*	6.01*	5.65*	7.66*	13.16*	5.36*	1.58*	.07*	
*	1959/1960	*	7.14*	6.20*	8.94*	16.84*	14.08*	30.66*	14.78*	12.23*	7.89*	6.68*	7.01*	12.04*	6.88*	4.63*	1.51*		
*	1960/1961	*	7.28*	8.69*	8.92*	18.55*	16.69*	22.72*	20.46*	11.53*	10.16*	7.05*	5.45*	4.56*	11.84*	6.18*	1.58*	.51*	
*	1961/1962	*	5.30*	7.59*	10.08*	13.35*	11.51*	17.71*	25.94*	8.86*	6.84*	6.38*	5.93*	8.25*	10.64*	5.98*	3.85*	1.37*	
*	1962/1963	*	9.83*	15.48*	9.85*	16.41*	23.20*	16.15*	6.53*	4.21*	3.46*	3.67*	2.86*	4.06*	9.64*	6.72*	1.87*	.59*	
*	1963/1964	*	2.39*	6.28*	8.31*	5.18*	13.44*	10.94*	4.84*	5.95*	6.67*	5.80*	5.50*	3.75*	6.59*	3.04*	2.88*	.89*	
*	1964/1965	*	6.31*	6.55*	7.71*	13.06*	24.44*	15.81*	13.71*	11.35*	13.67*	7.21*	9.47*	6.09*	11.28*	5.35*	3.33*	1.04*	
*	1965/1966	*	6.63*	12.25*	12.21*	17.62*	20.37*	18.72*	19.49*	18.31*	13.12*	5.94*	5.87*	7.40*	13.16*	5.66*	1.21*	.10*	
*	1966/1967	*	9.99*	14.10*	12.21*	17.25*	14.46*	29.58*	20.12*	12.00*	6.68*	12.53*	7.47*	5.74*	13.51*	6.59*	3.34*	1.00*	
*	1967/1968	*	9.57*	9.17*	17.10*	13.10*	17.10*	9.50*	16.60*	11.30*	9.07*	7.10*	5.26*	6.50*	10.95*	4.16*	1.56*	.36*	
*	1968/1969	*	4.98*	7.47*	4.40*	9.07*	6.80*	8.50*	10.00*	6.10*	4.00*	6.10*	3.20*	3.50*	6.18*	2.25*	1.55*	.23*	
*	1969/1970	*	3.50*	14.70*	25.60*	10.40*	23.50*	37.30*	23.10*	11.30*	8.60*	7.80*	6.50*	7.30*	14.97*	10.18*	2.35*	.80*	
*	1970/1971	*	9.70*	8.70*	6.60*	8.50*	11.70*	11.70*	15.20*	9.40*	8.10*	10.50*	6.90*	5.50*	9.37*	2.66*	2.56*	.56*	
*	1971/1972	*	5.50*	10.00*	6.60*	10.20*	21.10*	17.80*	9.70*	8.20*	5.00*	3.20*	5.00*	6.50*	9.07*	5.37*	2.88*	1.07*	
*	1972/1973	*	8.10*	21.70*	10.60*	7.30*	26.30*	18.60*	10.20*	13.60*	8.30*	6.30*	8.20*	6.10*	12.11*	6.62*	2.36*	.95*	
*	1973/1974	*	9.20*	10.30*	12.00*	15.10*	24.60*	8.60*	18.80*	11.10*	5.70*	10.80*	6.00*	4.10*	11.36*	5.82*	2.82*	.86*	
*	1974/1975	*	4.60*	8.40*	7.10*	16.20*	18.20*	21.00*	17.50*	7.20*	6.30*	5.10*	7.00*	4.50*	10.26*	6.08*	1.50*	.61*	
*	1975/1976	*	5.00*	8.10*	11.50*	19.80*	45.90*	39.90*	19.90*	22.50*	23.90*	18.50*	15.00*	19.50*	15.40*	20.42*	11.96*	2.66*	.85*
*	1976/197																		



QUADRO 2
Somatória de doze meses consecutivos, das vazões afluentes (m³/s mês)

Ordem Crescente	JAN+DEZ	SET+AGO	DEZ+NOV
1	80,84	74,12	76,64
2	82,51	78,24	81,58
3	84,66	79,08	82,64
4	86,30	87,84	92,35
5	90,52	90,05	93,72
6	93,15	91,53	93,47
7	97,63	97,21	95,18
8	100,60	99,01	97,53
9	101,96	100,82	98,80
10	102,40	103,08	101,07

QUADRO 3

Volumes 10⁶m³) de (-) Armazenamento / (+) Vertimento, em função da vazão disponível (Q_d, ordenados de forma crescente. Seqüência Set + Ago

i	14,0	13,5	13,0	12,5	12,0	11,5	11,0	10,5	10,0	9,5	9,0	8,5	8,0	7,5	7,0	6,5	6,0	5,5
1	-246,89	-231,11	-215,33	-199,55	-183,77	-167,99	-152,21	-136,43	-120,68	-104,88	-89,10	-73,32	-57,54	-41,76	-25,98	-10,20	+ 5,58	+ 21,35
2	-236,05	-220,27	-204,49	-188,71	-172,94	-157,16	-141,38	-125,60	-109,82	-94,04	-78,26	-62,48	-46,71	-30,93	-15,15	+ 0,63	+ 16,41	+ 32,19
3	-233,84	-218,06	-202,28	-186,51	-170,73	-154,95	-139,17	-123,39	-107,61	-91,83	-76,05	-60,28	-44,50	-28,72	-12,94	+ 2,84	+ 18,62	+ 34,40
4	-210,73	-195,03	-179,25	-163,47	-147,69	-131,91	-116,13	-100,35	-84,57	-68,80	-53,02	-37,24	-21,46	-5,68	+ 10,10	+ 25,88	+ 41,66	+ 57,43
5	-204,99	-189,21	-173,44	-157,66	-141,88	-126,10	-110,32	-94,54	-78,76	-62,98	-47,20	-31,43	-15,65	+ 0,13	+ 15,91	+ 31,69	+ 47,47	+ 63,25
6	-201,10	-185,32	-169,54	-153,76	-137,99	-122,21	-106,43	-90,65	-74,87	-59,09	-43,31	-27,53	-11,76	+ 4,02	+ 19,80	+ 35,58	+ 51,36	+ 67,14
7	-186,16	-170,38	-154,61	-138,83	-123,05	-107,27	-91,49	-75,71	-59,93	-44,15	-28,38	-12,60	+ 3,18	+ 18,96	+ 34,74	+ 50,52	+ 66,30	+ 82,08
8	-181,43	-165,65	-149,87	-134,09	-118,31	-102,54	-86,76	-70,98	-55,20	-39,42	-23,64	-7,86	+ 7,92	+ 23,69	+ 39,47	+ 55,25	+ 71,03	+ 86,81
9	-176,67	-160,89	-145,11	-129,33	-113,55	-97,78	-82,00	-66,22	-50,44	-34,66	-18,88	-3,10	+ 12,68	+ 28,45	+ 44,23	+ 60,01	+ 75,79	+ 91,57
10	-170,73	-154,95	-139,17	-123,39	-107,61	-91,83	-76,05	-60,28	-44,50	-28,72	-12,94	+ 2,84	+ 18,62	+ 34,40	+ 50,18	+ 65,96	+ 81,73	+ 97,51
..
75	+201,02	+216,70	+232,47	+248,25	+264,03	+279,81	+295,59	+311,37	+327,15	+342,93	+358,70	+374,48	+390,26	+406,04	+421,82	+437,60	+453,38	+469,16
76	+202,49	+218,27	+234,05	+249,83	+265,61	+281,39	+297,17	+312,95	+328,73	+344,50	+360,28	+376,06	+391,84	+407,62	+423,40	+439,18	+454,96	+470,73

QUADRO 4

Previsão de volumes necessários (10⁶m³), (-) Armazenamento/(+) Vertimento, supondo-se uma operação por doze meses consecutivos.

Vazão disponível = 11,5 m³/s. Seqüência: Set + Ago

Intervalo de recorrência (anos)	Probabilidade acumulada (%)	Risco (%)	F U N Ç Ã O D E D I S T R I B U I Ç Ã O					
			Normal	Log-Normal	Pearson tipo III	Gumbel EV-1	Gumbel EV-2	Gumbel EV-3
10.000	0,01	0,01	-333,355	-280,667	-181,572	-208,881	-187,676	-155,119
5.000	0,02	0,02	-	-	-	-202,977	-182,978	-154,614
2.000	0,05	0,05	-294,917	-253,148	-174,136	-194,388	-176,095	-153,567
1.000	0,1	0,1	-276,866	-239,863	-169,899	-187,171	-170,267	-152,336
500	0,2	0,2	-257,827	-225,595	-164,825	-179,192	-163,775	-
200	0,5	0,5	-230,705	-204,806	-156,451	-167,154	-153,885	-146,776
100	1	1	-208,253	-187,175	-148,442	-156,573	-145,095	-142,353
50	2	2	-183,825	-167,549	-138,459	-144,263	-134,754	-135,825
20	5	5	-147,094	-137,141	-120,869	-124,124	-117,565	-122,085
10	10	10	-114,493	-109,224	-102,380	-104,265	-100,281	-105,399
5	20	20	-74,978	-74,172	-76,079	-77,238	-76,213	-79,259
2	50	50	+ 0,640	- 3,203	- 12,658	-	-	- 12,171

FIGURA 2

Função de distribuição: normal (2 parâmetros). Probabilidade de ocorrências de volumes (armazenamento/vertimento), supondo-se uma operação por 12 meses consecutivos, na seqüência set+ago, para a vazão disponível de $11,5\text{m}^3/\text{s}$.

Reservatório de Guarapiranga. Período: set/1910 — ago/1986 n = 76 anos.

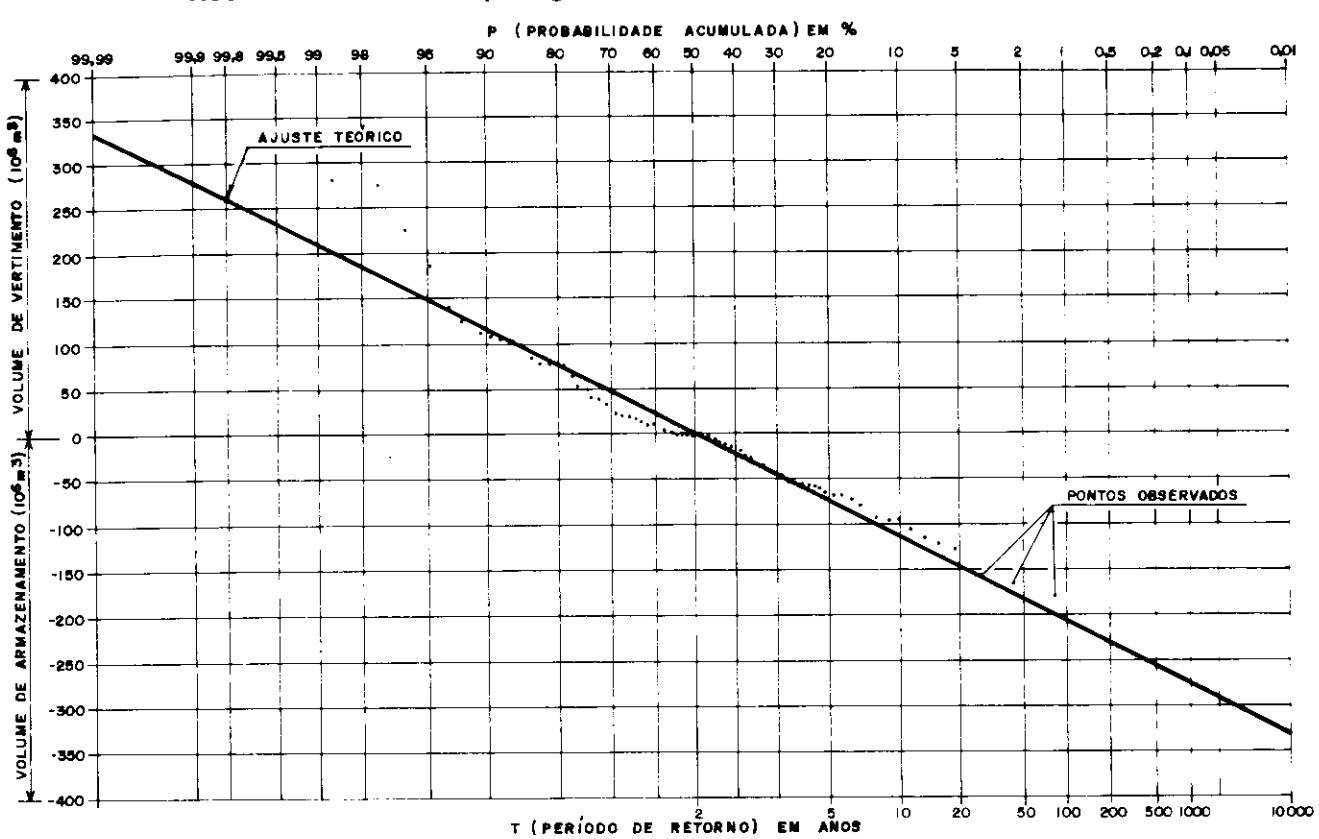


FIGURA 3

Função de distribuição: Log-normal (2 parâmetros). Probabilidade de volumes (armazenamento/vertimento), supondo-se uma operação por 12 meses consecutivos, na seqüência set+ago, para a vazão disponível de $11,5\text{m}^3/\text{s}$.

Reservatório de Guarapiranga. Período set/1910-ago/1986 n = 76 anos

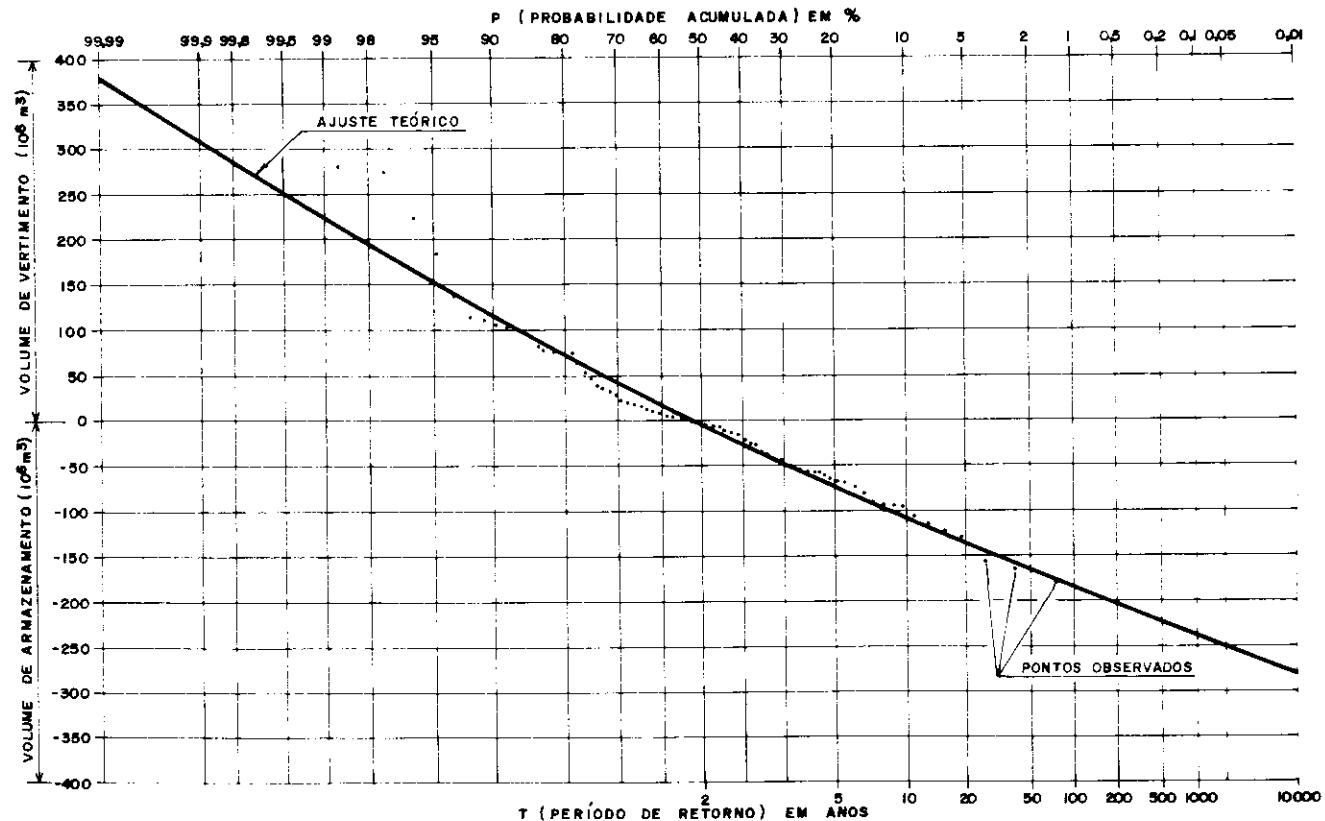


FIGURA 4

Função de distribuição: Pearson tipo III. Probabilidade de ocorrência de volumes (armazenamento/vertimento), supondo-se uma operação por 12 meses consecutivos, na seqüência set + ago, para a vazão disponível de $11,5 \text{ m}^3/\text{s}$. Reservatório de Guarapiranga. Período set/1910-ago/1986 n = 76 anos

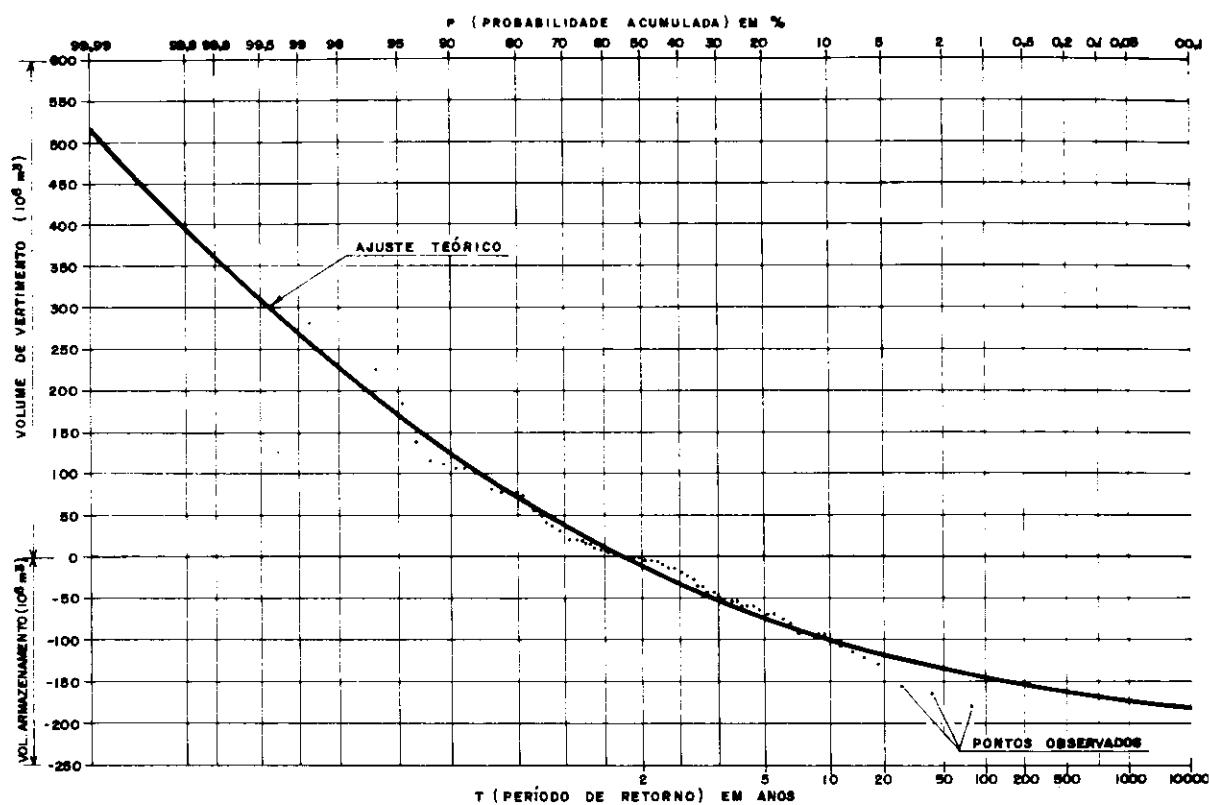


FIGURA 5

Função de distribuição: Gumbel EV-1. Probabilidade de ocorrência de volumes (armazenamento/vertimento), supondo-se uma operação por 12 meses consecutivos, na seqüência set + ago, para a vazão disponível de $11,5 \text{ m}^3/\text{s}$. Reservatório de Guarapiranga. Período set/1910-ago/1986 n = 76 anos

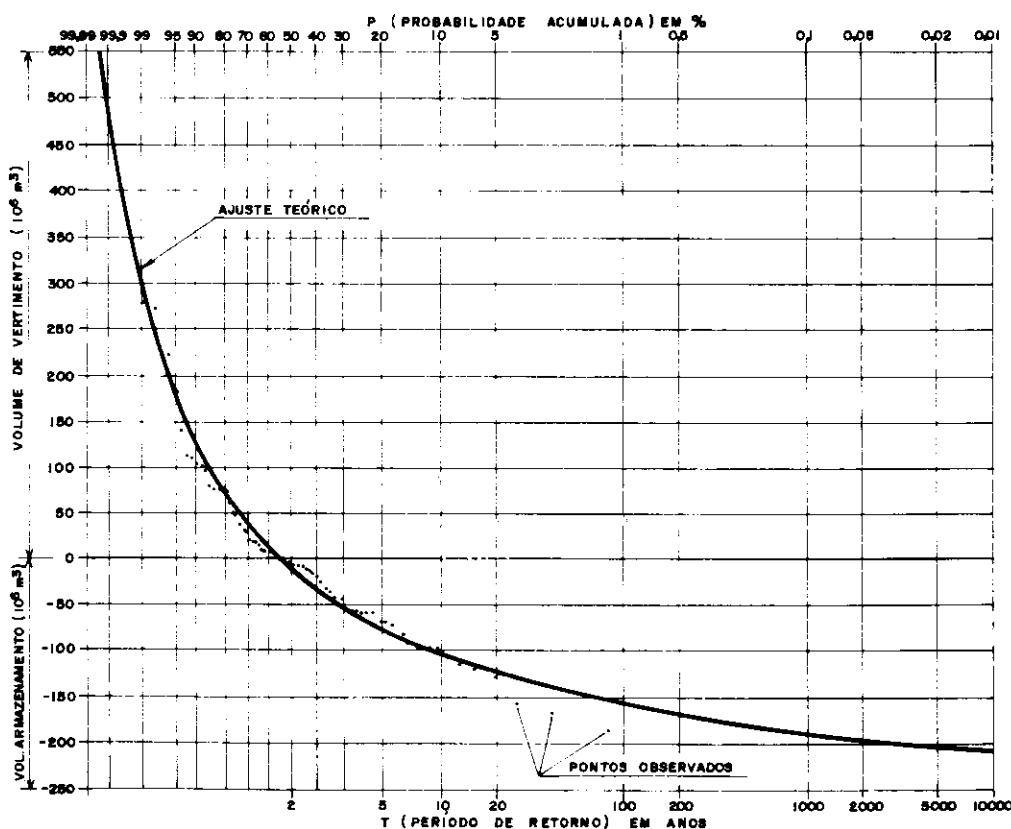


FIGURA 6

Função de distribuição: Gumbel EV-2. Probabilidade de ocorrência de volumes (armazenamento/vertimento), supondo-se uma operação por 12 meses consecutivos, na seqüência set + ago, para a vazão disponível de $11,5 \text{ m}^3/\text{s}$.

Reservatório de Guarapiranga. Período set/1910-ago/1986 n=76 anos

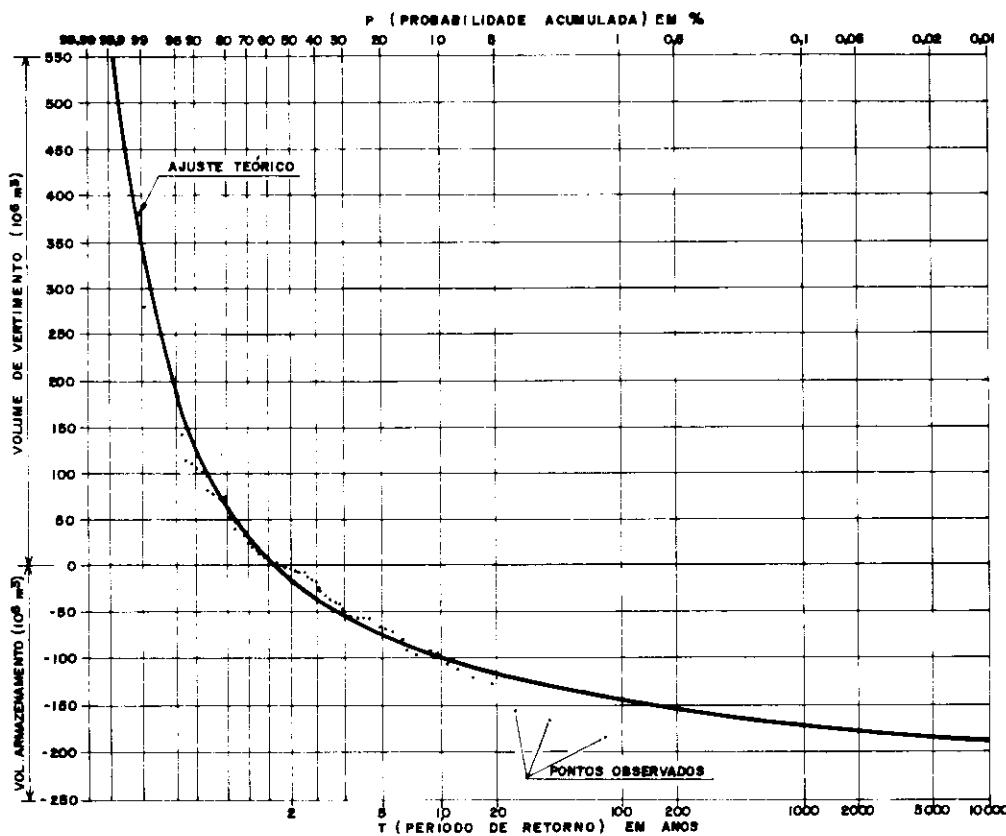


FIGURA 7

Função de distribuição: Gumbel EV-3. Probabilidade de ocorrência de volumes (armazenamento/vertimento), supondo-se uma operação por 12 meses consecutivos, na seqüência set + ago, para a vazão disponível de $11,5 \text{ m}^3/\text{s}$.

Reservatório de Guarapiranga. Período set/1910-ago/1986 n=76 anos

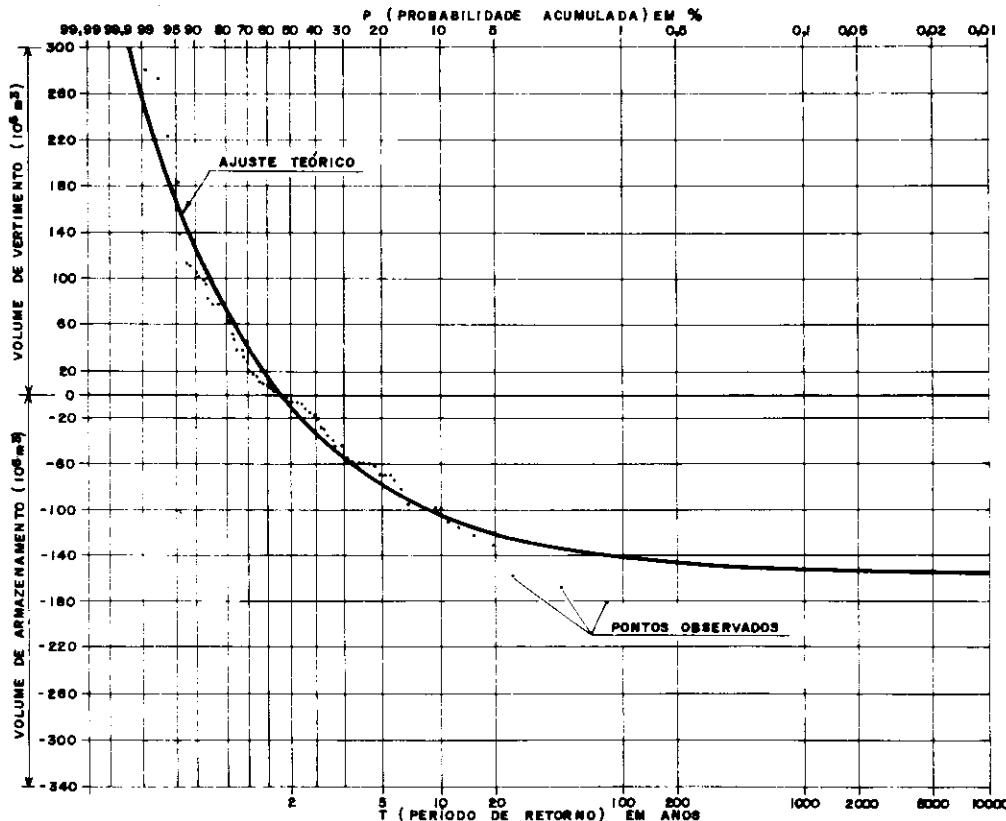


FIGURA 8

Curvas guias para a alocação do volume de armazenamento útil necessário para o reservatório de Guarapiranga, supondo-se uma operação por 12 meses consecutivos, associado a um determinado risco de não atendimento de 1%.

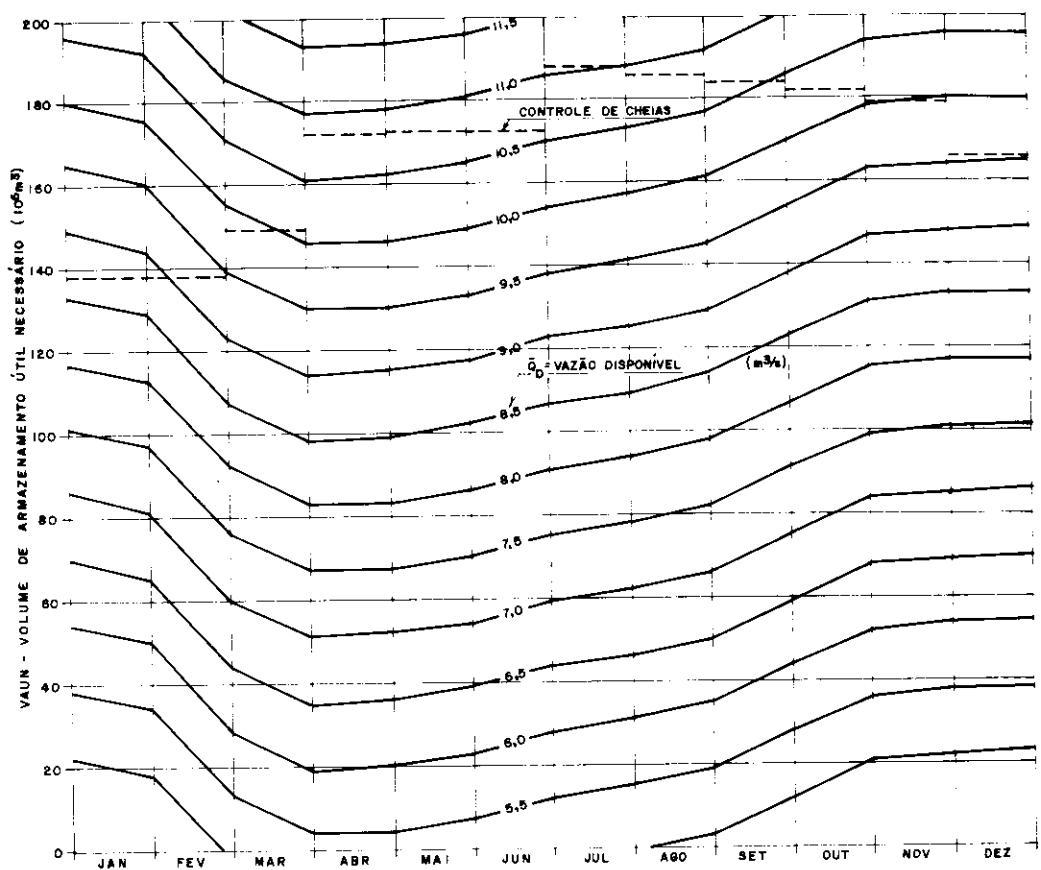


FIGURA 9

Curvas guias para a alocação de armazenamento útil necessário para o reservatório de Guarapiranga, supondo-se uma operação por 12 meses consecutivos, associado a um determinado risco de não atendimento de 2%.

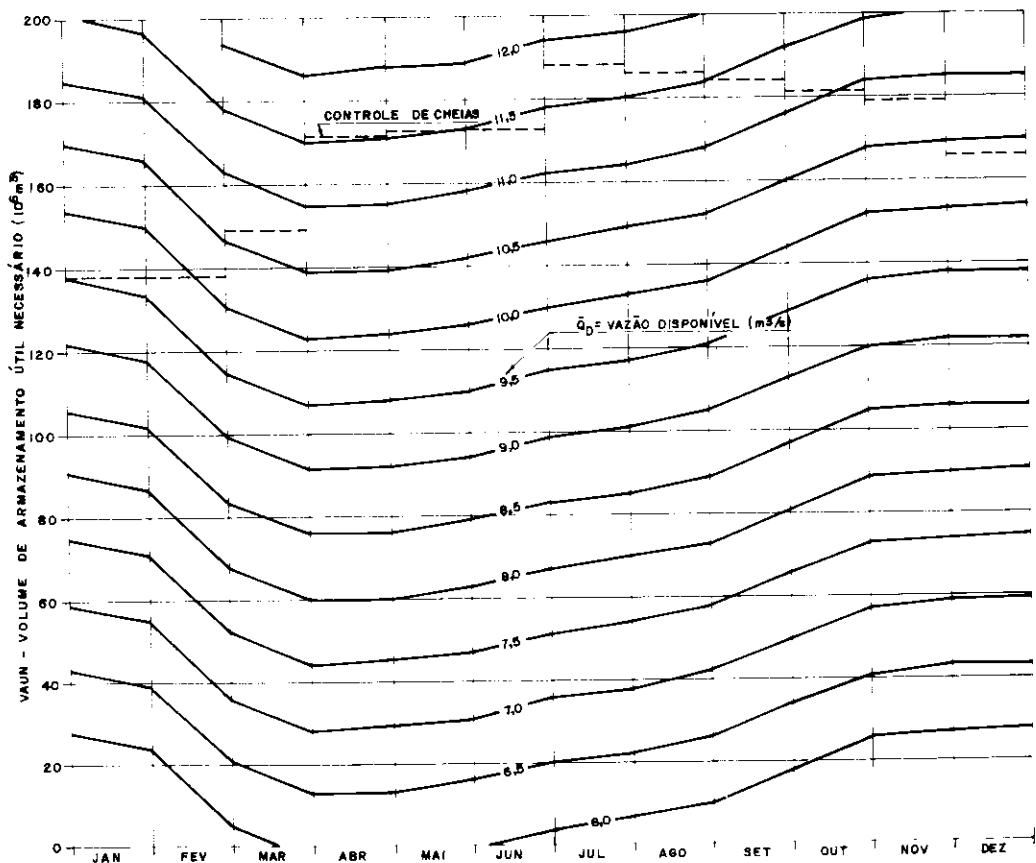


FIGURA 10

Curvas guias para a alocação do volume de armazenamento útil necessário para o reservatório de Guarapiranga, supondo-se uma operação por 12 meses consecutivos, associado a um determinado risco de não atendimento de 5%.

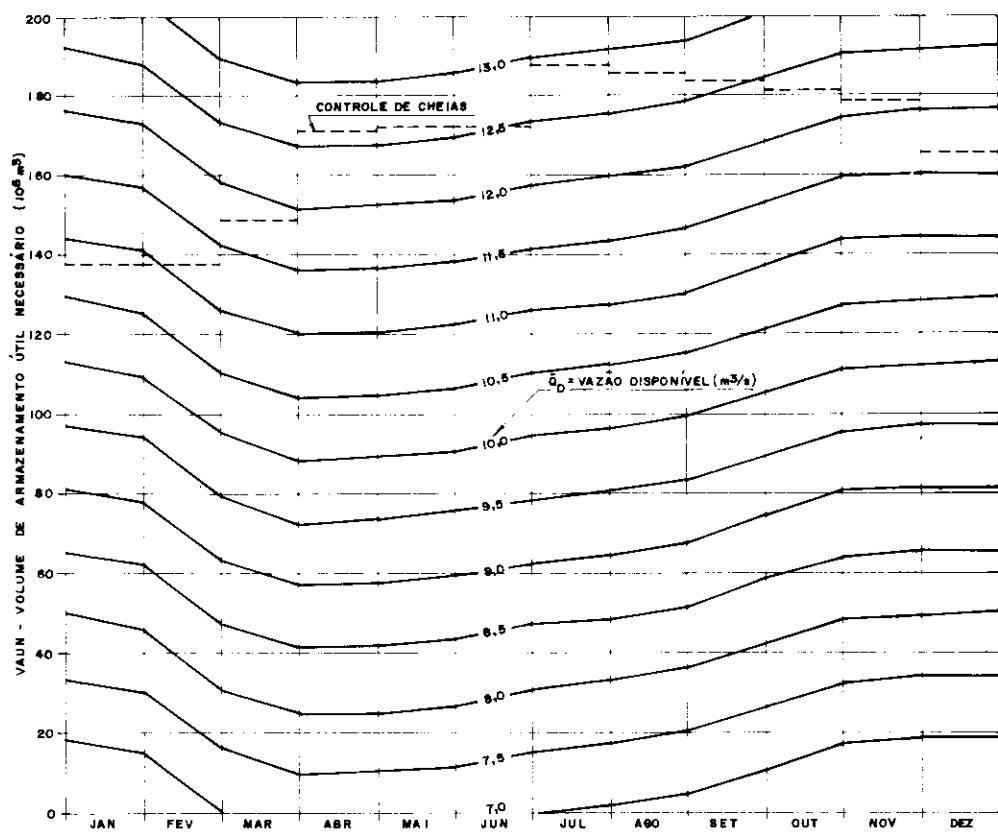


FIGURA 11

Curvas guias para a alocação do volume de armazenamento útil necessário para o reservatório de Guarapiranga, supondo-se uma operação por 12 meses consecutivos, associado a um determinado risco de não atendimento de 10%.

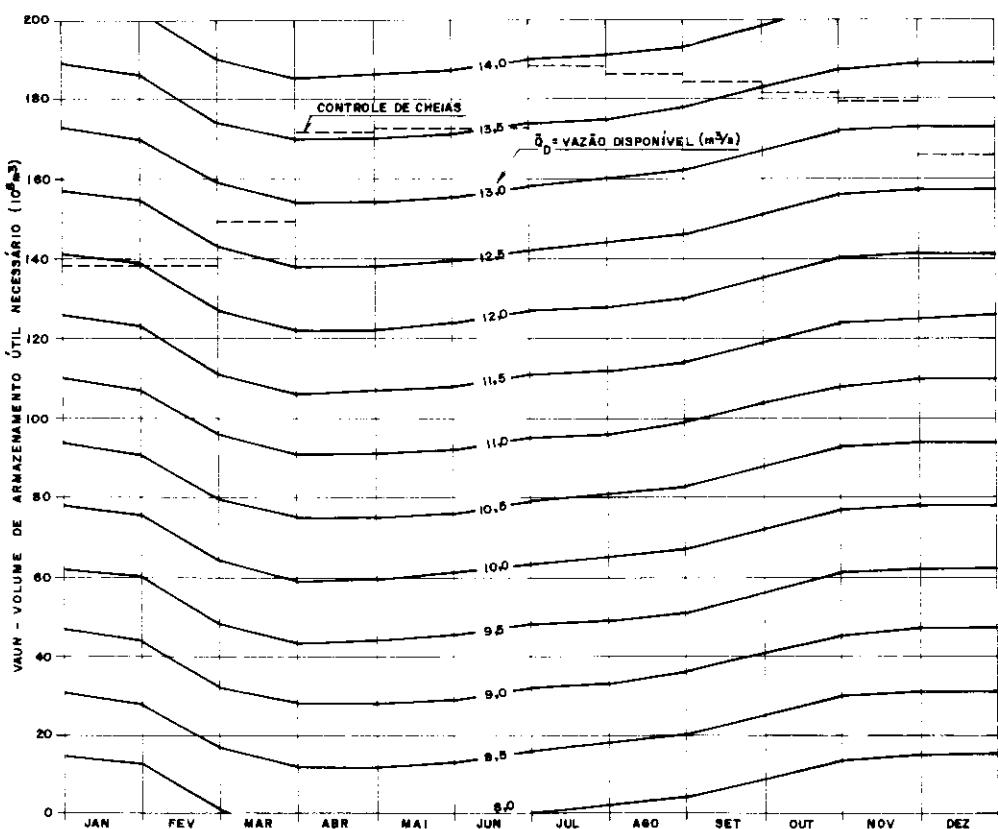
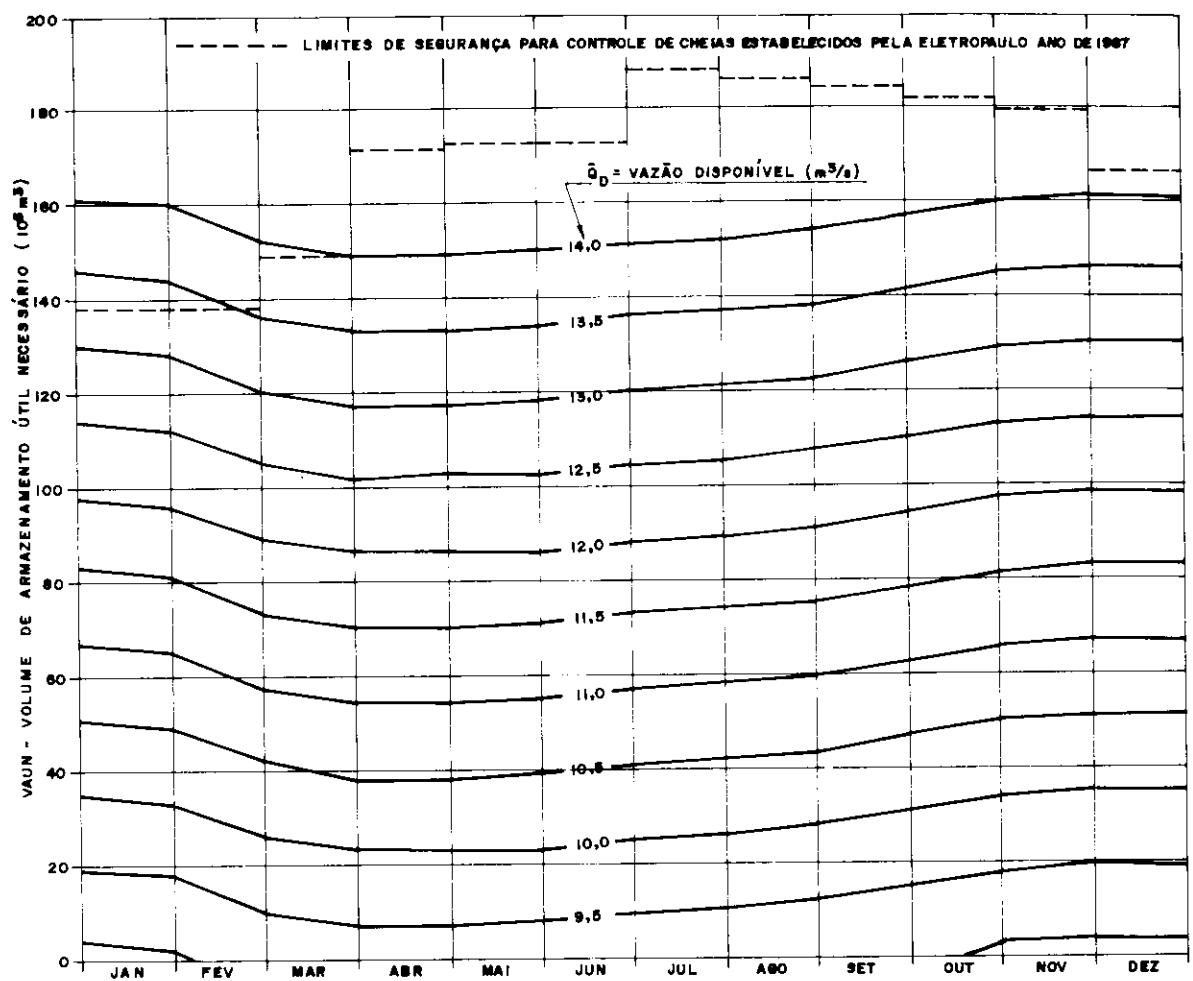


FIGURA 12
Curvas guias para a alocação do volume de armazenamento útil necessário para o reservatório de Guarapiranga, supondo-se uma operação por 12 meses consecutivos, associado a um determinado risco de não atendimento de 20%.



QUADRO 5
Volume de armazenamento útil necessário (10^6m^3) em função da vazão disponível, alocado no reservatório de Guarapiranga, supondo-se uma operação por 12 meses consecutivos, associado a um determinado risco de não atendimento de 1%

$Q_d(\text{m}^3/\text{s})$	14,0	13,5	13,0	12,5	12,0	11,5	11,0	10,5	10,0	9,5	9,0	8,5	8,0	7,5	7,0	6,5	6,0	5,5	5,0
JAN	306,55	290,78	275,00	259,22	243,44	227,66	211,88	196,10	180,33	164,55	148,77	132,99	117,21	101,43	85,65	69,87	54,09	38,31	22,54
FEV	302,04	286,34	270,56	254,78	239,00	223,23	207,45	191,67	175,89	160,11	144,33	128,55	112,77	97,00	81,22	65,44	49,66	33,88	18,10
MAR	280,95	265,17	249,39	233,62	217,83	202,06	186,28	170,50	154,72	138,94	123,16	107,38	91,60	75,83	60,05	44,27	44,27	28,49	-
ABR	271,89	256,11	240,33	224,55	208,77	192,99	177,21	161,43	145,66	129,88	114,10	98,32	82,54	66,76	50,98	35,20	19,42	3,65	-
MAY	272,49	256,71	240,93	225,18	209,37	193,59	177,86	162,04	146,26	130,48	114,70	98,92	83,14	67,36	51,59	35,81	20,03	4,25	-
JUN	275,28	259,50	243,72	227,95	212,17	196,39	180,61	164,83	149,05	133,27	117,49	101,72	85,94	70,16	54,38	38,60	22,82	7,04	-
JUL	280,33	264,55	248,77	232,99	217,21	201,44	185,66	169,88	154,10	138,32	122,54	106,76	90,98	75,20	59,43	43,65	27,87	12,09	-
AGO	282,95	267,18	251,39	235,62	219,84	204,06	188,28	172,50	156,73	140,94	125,17	109,39	93,61	77,83	62,05	46,27	30,50	14,71	-
SET	287,15	271,37	255,59	239,81	224,03	208,25	192,47	176,69	160,92	145,14	129,36	113,58	97,80	82,02	66,24	50,46	34,69	18,91	3,13
OUT	296,13	280,36	264,58	248,80	233,02	217,24	201,46	185,68	169,90	154,13	138,35	122,57	106,79	91,01	75,23	59,45	43,67	27,90	12,12
NOV	304,61	288,83	273,05	257,27	241,49	225,71	209,94	194,16	178,38	162,60	146,82	131,04	115,26	99,48	83,70	67,93	52,15	36,37	20,59
DEZ	306,12	290,34	274,56	258,78	243,00	227,22	211,44	195,67	179,89	164,11	148,33	132,55	116,77	100,99	85,21	69,44	53,66	37,88	22,10

QUADRO 6

Volume de armazenamento útil necessário (10^6m^3), em função da vazão disponível, alocado no reservatório de Guarapiranga, supondo-se uma operação por 12 meses consecutivos, associado a um determinado risco de não atendimento de 2%.CQC

$Q_D(\text{m}^3/\text{s})$	14,0	13,5	13,0	12,5	12,0	11,5	11,0	10,5	10,0	9,5	9,0	8,5	8,0	7,5	7,0	6,5	6,0	5,5	5,0
JAN	279,96	264,18	248,40	232,62	216,84	201,07	185,29	169,51	153,73	137,95	122,17	106,39	90,61	74,83	59,06	43,28	27,50	11,72	-
FEV	302,04	260,22	244,44	228,66	212,88	197,10	181,33	165,55	149,77	133,99	118,21	102,43	86,65	70,87	55,10	39,32	23,54	7,76	-
MAR	257,31	241,53	225,75	209,98	194,20	178,42	162,64	146,86	131,08	115,30	99,52	83,75	67,97	52,19	36,41	20,63	4,85	-	-
ABR	249,33	233,55	217,77	201,99	186,21	170,43	154,65	138,88	123,10	107,32	91,54	75,76	59,98	44,20	28,42	12,65	-	-	-
MAI	249,84	234,06	218,28	202,52	186,72	170,94	155,21	139,39	123,61	107,83	92,05	76,27	60,49	44,71	28,94	13,16	-	-	-
JUN	252,24	236,46	220,68	204,90	189,12	173,34	157,56	141,78	126,01	110,23	94,45	78,67	62,89	47,11	31,33	15,55	-	-	-
JUL	256,71	240,93	225,16	209,38	193,60	177,82	162,04	146,26	130,48	114,70	98,93	83,15	67,37	51,59	35,81	20,03	4,25	-	-
AGO	259,03	243,25	227,47	211,69	195,91	180,13	164,36	148,58	132,80	117,02	101,24	85,46	69,68	53,90	38,13	22,35	6,57	-	-
SET	262,72	246,94	231,16	215,38	199,61	183,82	168,05	152,27	136,49	120,71	104,93	89,15	73,37	57,60	41,82	26,04	10,26	-	-
OUT	270,66	254,88	239,10	223,32	207,54	191,76	175,98	160,21	144,43	128,65	112,87	97,09	81,31	65,53	49,75	33,98	18,20	2,42	-
NOV	278,17	262,39	246,61	230,84	215,06	199,28	183,50	167,72	151,94	136,16	120,38	104,61	88,83	73,05	57,27	41,49	25,71	9,93	-
DEZ	279,59	263,81	248,04	232,26	216,48	200,70	184,92	169,14	153,36	137,58	121,81	106,03	90,25	74,47	58,69	42,91	27,13	11,35	-

QUADRO 7

Volume de armazenamento útil necessário (10^6m^3), em função da vazão disponível, alocado no reservatório de Guarapiranga, supondo-se uma operação por 12 meses consecutivos, associado a um determinado risco de não atendimento de 5%

$Q_D(\text{m}^3/\text{s})$	14,0	13,5	13,0	12,5	12,0	11,5	11,0	10,5	10,0	9,5	9,0	8,5	8,0	7,5	7,0	6,5	6,0	5,5	5,0
JAN	239,97	224,19	208,41	192,63	176,85	161,07	145,29	129,51	113,74	97,96	82,18	66,40	50,62	34,84	19,06	3,28	-	-	-
FEV	236,68	220,94	205,16	189,38	173,60	157,82	142,05	126,27	110,49	94,71	78,93	63,15	47,37	31,59	15,82	0,04	-	-	-
MAR	221,77	205,99	190,21	174,43	158,65	142,87	127,09	111,31	95,54	79,76	63,98	48,20	32,42	16,64	0,86	-	-	-	-
ABR	215,40	199,63	183,85	168,07	152,21	136,51	120,73	104,95	89,17	73,40	57,62	41,84	26,06	10,28	-	-	-	-	-
MAI	215,78	200,00	184,22	168,46	152,66	136,88	121,16	105,33	89,55	73,77	57,99	42,21	26,43	10,65	-	-	-	-	-
JUN	217,58	201,80	186,03	170,25	154,47	138,69	122,91	107,13	91,35	75,57	59,79	44,02	28,24	12,46	-	-	-	-	-
JUL	221,20	205,42	189,65	173,87	158,09	142,31	126,53	110,75	94,87	79,19	63,42	47,64	31,86	16,08	0,30	-	-	-	-
AGO	223,05	207,27	191,50	175,71	159,94	144,16	128,38	112,60	96,82	81,04	65,26	49,48	33,70	17,93	2,15	-	-	-	-
SET	225,99	210,21	194,43	178,65	162,87	147,09	131,31	115,54	99,76	83,98	68,20	52,42	36,64	20,86	5,08	-	-	-	-
OUT	232,35	216,57	200,79	185,01	169,23	153,45	137,67	121,90	106,12	90,34	74,56	58,78	43,00	27,22	11,44	-	-	-	-
NOV	238,42	222,64	206,86	191,08	175,31	159,53	143,75	127,97	112,19	96,41	80,63	64,85	49,08	33,30	17,52	1,74	-	-	-
DEZ	239,71	223,93	208,15	192,38	176,60	160,82	145,04	129,26	113,48	97,70	81,92	66,14	50,37	34,59	18,81	3,03	-	-	-

QUADRO 8

Volume de armazenamento útil necessário (10^6m^3), em função da vazão disponível, alocado no reservatório de Guarapiranga, supondo-se uma operação por 12 meses consecutivos, associado a um determinado risco de não atendimento de 10%.

$Q_D(\text{m}^3/\text{s})$	14,0	13,5	13,0	12,5	12,0	11,5	11,0	10,5	10,0	9,5	9,0	8,5	8,0	7,5	7,0	6,5	6,0	5,5	5,0
JAN	204,47	188,69	172,91	157,14	141,36	125,58	109,80	94,02	78,24	62,46	46,68	30,91	15,13	-	-	-	-	-	-
FEV	201,85	186,08	170,30	154,52	138,74	122,96	107,18	91,40	75,62	59,85	44,07	28,29	12,51	-	-	-	-	-	-
MAR	190,22	174,44	158,66	142,88	127,10	111,32	95,55	79,77	63,99	48,21	32,43	16,65	0,87	-	-	-	-	-	-
ABR	185,30	169,52	153,74	137,96	122,18	106,41	90,63	74,85	59,07	43,29	27,51	11,73	-	-	-	-	-	-	-
MAI	185,55	169,77	153,99	138,23	122,43	106,68	90,93	75,10	59,32	43,54	27,76	11,98	-	-	-	-	-	-	-
JUN	186,83	171,05	155,27	139,49	123,71	107,93	92,15	76,37	60,60	44,82	29,04	13,26	-	-	-	-	-	-	-
JUL	189,69	173,91	158,13	142,35	126,57	110,79	95,01	79,23	63,46	47,68	31,90	16,12	0,34	-	-	-	-	-	-
AGO	191,12	175,34	159,57	143,78	128,00	112,23	96,45	80,67	64,89	49,11	33,33	17,55	1,77	-	-	-	-	-	-
SET	193,39	177,61	161,83	146,05	130,27	114,49	98,71	82,94	67,16	51,38	35,60	19,82	4,04	-	-	-	-	-	-
OUT	198,35	182,57	166,79	151,01	135,23	119,45	103,67	87,89	72,12	56,34	40,56	24,78	9,00	-	-	-	-	-	-
NOV	203,14	187,36	171,58	155,80	140,03	124,25	108,47	92,69	76,91	61,13	45,35	29,57	13,79	-	-	-	-	-	-
DEZ	204,31	188,54	172,76	156,98	141,20	125,42	109,64	93,86	78,08	62,31	46,53	30,75	14,97	-	-	-	-	-	-

QUADRO 9

Volume de armazenamento útil necessário (10^6m^3), em função da vazão disponível, alocado no reservatório de Guarapiranga, supondo-se uma operação por 12 meses consecutivos, associado a um determinado risco de não atendimento de 20%.

$Q_D(\text{m}^3/\text{s})$	14,0	13,5	13,0	12,5	12,0	11,5	11,0	10,5	10,0	9,5	9,0	8,5	8,0	7,5	7,0	6,5	6,0	5,5	5,0
JAN	161,45	145,67	129,89	114,11	98,33	82,55	66,78	51,00	35,22	19,44	3,66	-	-	-	-	-	-	-	
FEV	159,62	143,82	128,04	112,26	96,48	80,70	64,93	49,15	33,37	17,59	1,81	-	-	-	-	-	-	-	
MAR	151,98	136,20	120,42	104,64	88,86	73,08	57,31	41,53	25,75	9,97	-	-	-	-	-	-	-	-	
ABR	148,81	133,03	117,25	101,47	85,69	69,91	54,13	38,35	22,58	6,80	-	-	-	-	-	-	-	-	
MAI	148,91	133,13	117,35	101,58	85,79	70,01	54,29	38,46	22,68	6,90	-	-	-	-	-	-	-	-	
JUN	149,55	133,77	117,99	102,21	86,43	70,65	54,87	39,09	23,32	7,54	-	-	-	-	-	-	-	-	
JUL	151,49	135,71	119,93	104,15	88,37	72,59	56,81	41,03	25,25	9,48	-	-	-	-	-	-	-	-	
AGO	152,41	136,63	120,87	105,08	89,30	73,52	57,74	41,96	26,18	10,40	-	-	-	-	-	-	-	-	
SET	153,87	138,09	122,31	106,54	90,76	74,98	59,20	43,42	27,64	11,86	-	-	-	-	-	-	-	-	
OUT	157,13	141,35	125,57	109,80	94,02	78,24	62,46	46,68	30,90	15,12	-	-	-	-	-	-	-	-	
NOV	160,38	144,60	128,82	113,04	97,26	81,48	65,70	49,93	34,15	18,37	2,59	-	-	-	-	-	-	-	
DEZ	161,41	145,63	129,85	114,07	98,30	82,52	66,74	50,96	35,18	19,40	3,62	-	-	-	-	-	-	-	

QUADRO 10

Volume de armazenamento útil necessário (10^6m^3), em função da vazão disponível, alocado no reservatório de Guarapiranga, supondo-se uma operação por 12 meses consecutivos, associado a um determinado risco de não atendimento de 50%.

$Q_D(\text{m}^3/\text{s})$	14,0	13,5	13,0	12,5	12,0	11,5	11,0	10,5	10,0	9,5	9,0	8,5	8,0	7,5	7,0	6,5	6,0	5,5	5,0
JAN	79,12	63,34	47,56	31,78	16,00	0,22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
FEV	78,82	62,95	47,18	31,40	15,62	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
MAR	78,80	63,02	47,24	31,47	15,69	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
ABR	78,97	63,19	47,42	31,64	15,86	0,08	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
MAI	78,79	63,01	47,23	31,46	15,68	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
JUN	78,21	62,43	46,65	30,87	15,09	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
JUL	78,38	62,60	46,82	31,05	15,27	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
AGO	78,35	62,57	46,82	31,01	15,23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
SET	78,25	62,47	46,70	30,92	15,14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
OUT	78,26	62,49	46,71	30,93	15,15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
NOV	78,54	62,76	46,98	31,20	15,43	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
DEZ	79,31	63,53	47,75	31,97	16,19	0,41	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

QUADRO 11

Volume de armazenamento útil, permitido pela Eletropaulo, estabelecido como limite de segurança para controle de cheias e a vazão disponível para o risco de não atendimento de 5%.

1987	nível de segurança, para controle de cheias (m)	Percentual do volume total (%)	Volume total de armazenamento (10^6m^3)	Volume de espera p/amortecimento de cheias (10^6m^3)	Volume de armazenamento útil (10^6m^3)	Vazão disponível para o risco de 5% (m^3/s)
Janeiro	734,89	73,02	144,303	53,328	138,282	10,8
Fevereiro	734,89	73,02	144,303	53,328	138,282	11,1
Março	735,29	78,86	155,849	41,782	149,828	11,8
Abri	736,01	89,98	177,820	19,811	171,799	12,6
Maio	736,04	90,46	178,769	18,862	172,748	12,6
Junho	736,04	90,46	178,769	18,862	172,748	12,5
Julho	736,52	98,32	194,308	3,323	188,287	12,9
Agosto	736,46	97,32	192,329	5,302	186,308	12,8
Setembro	736,39	96,16	190,033	7,598	184,012	12,5
Outubro	736,32	95,00	187,751	9,880	181,730	12,3
Novembro	736,23	93,53	184,839	12,792	178,818	12,1
Dezembro	735,83	87,12	172,184	25,447	166,163	11,6



QUADRO 12**Vazões afluentes à Guarapiranga**

Mês/ano	Vazão afluente (m ³ /s)
Set/86	6,0
Out/86	6,2
Nov/86	9,0
Dez/86	17,4
Jan/87	22,6
Fev/87	21,3
Mar/87	11,7
Abr/87	11,0
Mai/87	20,5
Jun/87	27,3
Jul/87	8,6
Ago/87	6,1

QUADRO 13**Previsão para as vazões afluentes à Guarapiranga**

Mês/ano	Limite inferior		Ponto médio (m ³ /s)	Limite superior	
	95%	90%		90%	95%
	(m ³ /s)			(m ³ /s)	
Set/87	2,5	3,8	10,3	16,7	18,0
Out/87	4,7	5,6	10,4	15,1	16,0
Nov/87	11,0	11,9	16,5	21,2	22,1
Dez/87	12,4	13,8	21,3	28,8	30,5
Jan/88	9,0	10,8	20,5	30,1	32,0
Fev/88	-12,6	-10,0	3,2	16,4	18,9
Mar/88	-0,9	1,2	12,1	23,0	25,1
Abr/88	4,7	6,0	12,9	19,8	21,1
Mai/88	-1,6	-0,7	4,0	8,6	9,5
Jun/88	0,0	0,7	4,1	7,5	8,2
Jul/88	1,9	2,5	5,5	8,5	9,1
Ago/88	1,6	2,2	5,4	8,6	9,2

QUADRO 14**Volumes de água prováveis no reservatório de Guarapiranga para o período de setembro/87 a agosto/88, com retirada variável entre 9,5 e 16m³/s.**

Mês/ano	Vazão afluente (m ³ /s)	Vazão disponível ou de retirada (m ³ /s)	Volume ao final do mês (10 ⁶ m ³)	Estado do reservatório	Observações
Set/87	10,3	11,852	163,073	esvaziando	R = 5%
Out/87	10,4	16,0	148,074	esvaziando	R > 20%
Nov/87	16,5	16,0	149,370	enchendo	R > 20%
Dez/87	21,3	16,0	163,566	enchendo	R > 20%
Jan/88	20,5	16,0	138,282	vertendo	R > 20%
Fev/88	3,2	11,0	118,738	esvaziando	R = 5%
Mar/88	12,1	10,5	123,023	enchendo	R = 5%
Abr/88	12,9	11,0	127,948	enchendo	R = 5%
Mai/88	4,0	11,0	109,199	esvaziando	R = 5%
Jun/88	4,1	10,5	92,610	esvaziando	R = 5%
Jul/88	5,5	10,0	80,557	esvaziando	R = 5%
Ago/88	5,4	9,5	69,576	esvaziando	R = 5%

FIGURA 13

Volumes d'água prováveis no reservatório de Guarapiranga para o período set/87-ago/88, com retirada variável entre 9,5 e 16 m³/s.

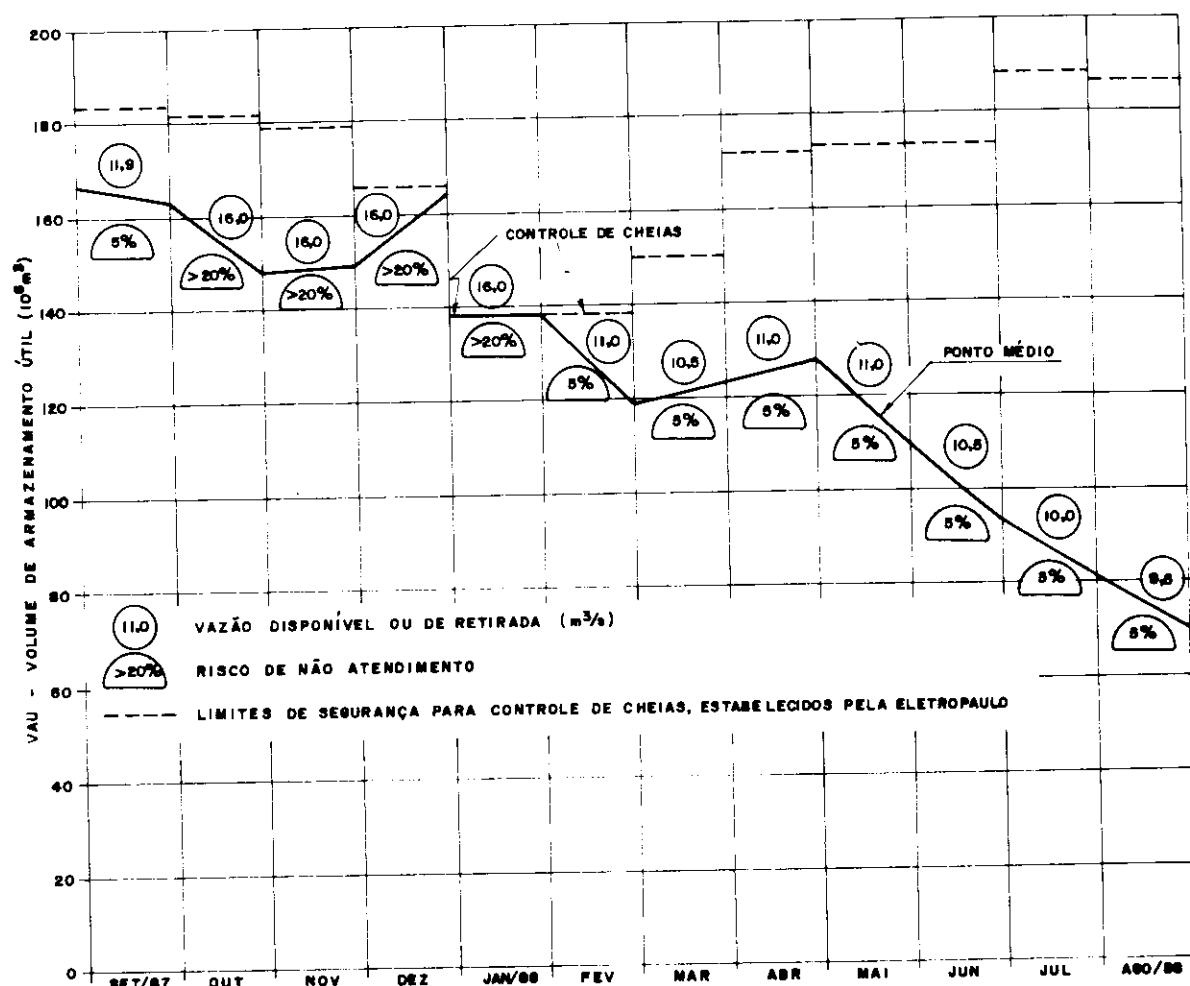


FIGURA 14
Disponibilidade hídrica em função do risco e do critério de operação no reservatório de Guarapiranga.
Mês de referência: Janeiro.

