



Este artigo apresenta desenvolvimentos recentes no modelo de previsão de vazões diárias, PREVIVAZH (1), (2), (3), (4) e (5), de natureza estocástica, baseado na desagregação em intervalos diários das previsões semanais utilizadas na elaboração do Programa Mensal da Operação Energética, PMO (em geral, obtidas pelo modelo PREVIVAZ (6)). O modelo utiliza as previsões das aflúncias semanais, seqüências sintéticas de vazões diárias (geradas pelo modelo DIANA (7), (8)), para os sete dias da semana, condicionada às últimas aflúncias diárias observadas e às informações quantitativas de precipitação média diária na bacia no dia a ser previsto e também nos dois dias que antecedem ao dia da previsão. O caso estudo apresentado neste artigo corresponde à previsão das aflúncias diárias ao aproveitamento hidroelétrico de Salto Santiago, localizado no rio Iguaçu, na região sul do Brasil, cuja área de drenagem é 43.900 km<sup>2</sup> e a precipitação média diária é 6,16 mm. O rio Iguaçu possui regime hidrológico caracterizado por ascensões abruptas e acentuadas de difícil previsibilidade. Em Salto Santiago a vazão diária tem média de 1274 m<sup>3</sup>/s com desvio padrão de 1260m<sup>3</sup>/s, tendo sido registrados o valor máximo de 15771 m<sup>3</sup>/s e o valor mínimo de 101 m<sup>3</sup>/s. Apresenta-se uma análise dos erros de previsão da vazão diária dos sete dias da semana obtida pelo modelo considerando a informação de precipitação e sem considerar esta informação. Para cada dia da semana faz-se uma análise do comportamento sazonal do erro de previsão diária. Apresenta-se também uma análise da redução do erro da previsão da vazão semanal obtida pela média das previsões diárias.

## 2.0 - GERAÇÃO DE SEQUÊNCIAS SINTÉTICAS CONDICIONADAS

A formulação do modelo DIANA baseia-se na idéia que as vazões diárias podem ser decompostas em duas parcelas: uma parcela dependente de fatores externos (por exemplo, precipitação) e outra que representa o contínuo esvaziamento da bacia. Considera-se que a vazão no dia  $t$  da hidrógrafa de um dado posto fluviométrico é dada pela soma de dois componentes:

$$Q(t) = U(t) + O(t), t = 1, 2, \dots \quad (1)$$

Idealmente,  $U(t)$  dependeria principalmente de fatores externos (ex.: precipitações), cuja natureza intermitente ocasionariam na hidrógrafa pulsos irregularmente espaçados no tempo. Por outro lado,  $O(t)$  representaria o contínuo esvaziamento da água armazenada na bacia hidrográfica. Considera-se a ocorrência de  $u(t)$  positivo sempre que  $q(t) > \lambda q(t-1)$ , onde  $0 \leq \lambda \leq 1$  é uma taxa de recessão característica do posto fluviométrico. Para qualquer  $\lambda$  a opção implica que:

$$\begin{aligned} u(t) &= 0 && \text{se } q(t) \leq \lambda q(t-1) \\ u(t) &= q(t) - \lambda q(t-1) && \text{se } q(t) > \lambda q(t-1) \end{aligned} \quad (2)$$

Nos dias em que atuam fatores externos ( $u(t) > 0$ ), a vazão total é dada por:

$$q(t) = \lambda q(t-1) + u(t), \quad u(t) > 0 \quad (3)$$

e, portanto:

$$O(t) = \lambda q(t-1), \quad u(t) > 0 \quad (4)$$

Nos dias em que não atuam fatores externos ( $u(t) = 0$ ), a vazão total é dada simplesmente por  $O(t)$ , o qual pode ser considerado como a soma das defluências de dois reservatórios lineares, cada parcela dependendo de  $q(t-1)$  através de uma equação probabilística. Esta abordagem pode ser simplificada considerando-se apenas um reservatório linear de comportamento estocástico. Assim, quando  $u(t) = 0$ ,  $O(t)$ , e, portanto,  $q(t)$ , é uma fração  $k(t) \leq \lambda$  da vazão anterior:

$$q(t) = O(t) = k(t) q(t-1), \quad k(t) \leq \lambda; \quad u(t) = 0 \quad (5)$$

Juntando-se as equações (1), (3) e (5) o modelo pode ser escrito por:

$$\begin{cases} q(t) = u(t) + k(t) q(t-1) \\ u(t) = 0 \Rightarrow k(t) \leq \lambda \\ u(t) > 0 \Rightarrow k(t) = \lambda \end{cases} \quad (6)$$

Existem dois aspectos a serem considerados na modelagem do processo  $U(t)$ : a definição de sua distribuição de probabilidade marginal ou de distribuições condicionadas às classes de precipitação média na bacia levando-se

em conta que existe uma probabilidade finita  $p_{classe}$  de que  $U(t)$  seja exatamente igual a zero, e a preservação da eventual dependência entre valores sucessivos de  $U(t)$ .

O modelo adota distribuições empíricas condicionadas às classes de precipitação média na bacia,  $F_{U/classe}(\cdot)$ . Quanto a questão da dependência entre  $U(t-1)$  e  $U(t)$ , o modelo, assume a existência de um processo autoregressivo normal de ordem 1 com censura, cujo coeficiente de autocorrelação  $\rho$  deve ser preservado. Este processo é mapeado em  $U(t)$  através de uma transformação não-paramétrica que deve preservar as distribuições empíricas  $F_{U/classe}(\cdot)$ , conforme a seguir exposto. Seja o processo markoviano  $Z(t)$  definido por:

$$z(t) = \rho z(t-1) + \varepsilon(t) \sqrt{1-\rho^2} \quad (7)$$

onde  $\varepsilon(t)$  é um ruído normal padrão e  $\rho$  a correlação lag-1 do processo markoviano.

Seja o processo  $Y(t)$  resultado de uma censura imposta ao processo  $Z(t)$  definida por:

$$\begin{aligned} y(t) &= z(t) & \text{se} & & z(t) > \beta_{classe} \\ y(t) &= \beta_{classe} & \text{se} & & z(t) \leq \beta_{classe} \end{aligned} \quad (8)$$

$$\beta_{classe} = \Phi^{-1}(p_{classe})$$

onde  $\beta_{classe}$  define o intervalo de censura  $(-\infty, \beta_{classe})$ ,  $\Phi(\cdot)$  é a distribuição acumulada normal, e  $p_{classe} = P[u(t)=0|classe]$ .

A relação entre  $U(t)$  e  $Y(t)$  é obtida resolvendo-se  $F_{U|classe}(u) = \Phi(y(t))$ .

Para a modelagem da série de  $k(t)$ 's assume-se que seja suficiente simplesmente usar para a geração de valores sintéticos a distribuição empírica de  $k(t)$  menor que  $\lambda$ ,  $F_K(\cdot)$ , sempre que  $u(t) = 0$ , e  $k(t) = q(t) / q(t-1)$

O algoritmo de geração de seqüências sintéticas pode ser descrito resumidamente por:

- i. calcula-se  $z(0)$  a partir de  $q(-1)$ ,  $q(0)$  (vazões diárias observadas nos dias anteriores ao primeiro dia a ser previsto) e a classe da precipitação no dia  $t=0$
- ii. fazer  $t = 1$
- iii. identifica-se a classe da precipitação média para o dia  $t$
- iv. sortear um ruído  $\varepsilon(t)$  da distribuição normal padrão  $\Phi(\cdot)$
- v. calcular  $z(t) = \rho z(t-1) + \varepsilon(t) \sqrt{1-\rho^2}$  e fazer  $y(t) = \text{Max}(\beta_{classe}, z(t))$
- vi. obter  $u(t)$  resolvendo  $F_{U|classe}(u) = \Phi(y(t))$
- vii. se  $u(t) > 0$  obter  $q(t) = u(t) + \lambda q(t-1)$ . Se  $u(t) = 0$  sortear  $k(t)$  de  $F_K(\cdot)$  e obter  $q(t) = k(t) q(t-1)$
- viii. fazer  $t = t + 1$  e retornar a (iii)

O condicionamento da distribuição de  $U(t)$  pressupõe a definição das classes de precipitação média diária na bacia. A informação de precipitação que será utilizada para condicionar a distribuição do processo  $U(\cdot)$  no dia  $t$ , pode ser na sua forma mais simples, a precipitação ocorrida para o dia  $t-1$  ou a previsão da precipitação para o dia  $t$ . Outras alternativas incluem o uso de médias ponderadas de precipitações ocorridas recentemente de forma a modelar uma variação do tempo de viagem no interior da área de drenagem (maiores detalhes ver (9) e (10)). À medida que se deseja fazer previsões para mais de um dia de antecedência, as precipitações ocorridas em  $t-1$ ,  $t-2$ , ... não estariam ainda disponíveis, considera-se que existem previsões que seriam então utilizadas

Seja qual for a definição da informação quantitativa de precipitação considera-se possível calcular para cada dia do histórico o valor correspondente  $\text{prec}(t)$ . Se definirmos um valor crítico próximo de zero, e se dividirmos a amostra disponível de  $u(t)$  em duas sub-amostras, a primeira incluindo apenas os dias em que  $\text{prec}(t)$  não excedesse o valor crítico selecionado e a segunda incluindo os dias em que  $\text{prec}(t)$  o excedesse, é de se esperar que a probabilidade de que  $U(t)$  seja exatamente igual a zero varie em cada sub-amostra, apresentando valores maiores na primeira. Da mesma forma, espera-se que as distribuições empíricas de  $U(t) > 0$  das duas sub-amostras difiram significativamente entre si. O valor crítico para esta repartição da amostra poderia ser objeto de uma calibração com o histórico, procurando obter o valor que fornecesse previsões de aflúncias com menor erro médio absoluto. Este esquema de uso da informação de  $\text{prec}(t)$  pode ser desdobrado dividindo-se a amostra em mais de duas sub-amostras. Os valores críticos das repartições poderiam ser calibrados de forma similar à calibração do valor crítico usado na primeira repartição da amostra (maiores detalhes ver (9) e (10)).

### 3.0 - ALGORITMO DE DESAGREGAÇÃO

De forma bastante resumida o processo de desagregação da previsão da aflúncia semanal QS1, em previsões para os 7 dias da semana, adotado no PREVIVAZH pode ser descrito da seguinte forma:

Consideram-se disponíveis a vazão semanal prevista para a semana que se inicia no dia  $i = 1$ , QS1, e as duas últimas vazões diárias observadas, referentes aos dias  $i = -1$  e  $i = 0$ , respectivamente QD-1 e QD0.

**Passo 1:** Gera-se com o modelo DIANA, condicionado às últimas duas aflúncias diárias observadas e às informações sobre o estado das precipitações médias diárias na bacia para os próximos 7 dias, um conjunto de  $M$  seqüências sintéticas de 7 vazões diárias,  $QDm, i, i=1, \dots, 7; m=1, \dots, M$ .

**Passo 2:** Do conjunto de  $M$  seqüências, seleciona-se aquela cuja vazão média semanal seja a mais próxima à  $QS_1$  para formar a previsão das vazões dos dias  $i=1,2,\dots,7$ .

Vale observar que a previsão semanal,  $QS_1$ , é obtida a partir de valores médios de aflúências para semanas. É possível que as últimas aflúências diárias observadas,  $QD-1$  e  $QD_0$ , e as informações de precipitação média diária na bacia para os dias da semana a prever, estejam sinalizando que a previsão  $QS_1$  esteja bastante descolada da realidade. Eventuais discrepâncias devem ser consideradas no processo de escolha da seqüência sintética a ser utilizada como previsão das aflúências diárias para os dias da semana em curso.

No modelo PREVIVAZH o grau de discrepância entre  $QS_1$  e as aflúências diárias observadas e a informação de precipitação, é avaliado localizando o valor de  $QS_1$  na distribuição de freqüência das  $M$  médias semanais,  $\{\overline{QD}^m, m=1,\dots,M\}$ , correspondentes às seqüências sintéticas geradas no passo 1. Sempre que o valor de  $QS_1$  estiver contido num intervalo de aceitação de  $QS_1$  formado, por exemplo pelos quantis 5% ( $\overline{QD} 5\%$ ) e 95% ( $\overline{QD} 95\%$ ), nível de confiança de 90%, considera-se que não há discrepância entre  $QS_1$  e as aflúências diárias já ocorridas e, o passo 2 é então executado normalmente. Se o valor de  $QS_1$  estiver fora deste intervalo, considera-se que há grande discrepância entre  $QS_1$  e o conjunto formado pelas aflúências diárias já ocorridas e as previsões quanto às classes de precipitação nos dias da semana a prever. Neste caso, o valor médio usado para seleção da seqüência sintética é a média das  $M$  médias semanais (media  $\overline{QD}^m$ ). No caso  $QS_1 \leq \overline{QD} 5\%$ , no passo 2, o valor de média usado para seleção da seqüência sintética é obtido interpolando-se na reta definida pelos pontos  $(\min_m \overline{QD}^m, \min_m \overline{QD}^m)$  e  $(\overline{QD} 5\%, \overline{QD} 5\%)$ . Finalmente, no caso  $QS_1 \geq \overline{QD} 95\%$ , interpola-se na reta definida pelos pontos  $(\max_m \overline{QD}^m, \max_m \overline{QD}^m)$  e  $(\overline{QD} 95\%, \overline{QD} 95\%)$ . O nível de confiança do intervalo de aceitação de  $QS_1$  deve ser ajustado de acordo com as características de previsibilidade da vazão semanal na bacia em estudo (maiores detalhes ver (2) e (3)).

#### 4.0 - CASO ESTUDO

O modelo foi utilizado para obtenção de previsões de aflúências diárias ao aproveitamento hidroelétrico (AH) de Salto Santiago, localizado no rio Iguaçu, na região sul do Brasil, cuja área de drenagem é 43.900 km<sup>2</sup> e a precipitação média diária é 6,16 mm. O rio Iguaçu possui regime hidrológico, caracterizado por ascensões abruptas e acentuadas, de difícil previsibilidade. Em Salto Santiago a vazão diária tem média de 1274 m<sup>3</sup>/s com desvio padrão de 1260m<sup>3</sup>/s, tendo sido registrados o valor máximo de 15771 m<sup>3</sup>/s e o valor mínimo de 101 m<sup>3</sup>/s. Neste estudo foi utilizada a série histórica de aflúências diárias totais ao AH Salto Santiago no período de 01/01/1982 a 31/12/2000, correspondente ao posto fluviométrico 10000077 e as séries históricas de precipitação diária correspondente às estações pluviométricas: Santa Clara, Guaraupava e Laranjeira do Sul, localizadas na bacia incremental entre os AH de Salto Santiago e Foz do Areia e as estações pluviométricas: Clevelandia, Pato Branco e Água Verê localizadas nas proximidades desta bacia incremental. Para a área correspondente à bacia à montante do AH de Foz do Areia foram consideradas as estações pluviométricas: Porto Amazonas, São Mateus do Sul, Fragosos, Rio Negro, São Bento, Fluviópolis, Santa Cruz do Timbo, União da Vitória, Porto Vitória e Jangada.

Considerou-se como precipitação média diária a média entre as precipitações médias da bacia a montante do AH de Foz do Areia e da bacia incremental entre os AH de Salto Santiago e Foz do Areia, ponderadas pelas respectivas áreas de drenagem. Calculou-se a precipitação média da bacia a montante do AH de Foz do Areia através da média aritmética das precipitações diárias das 10 estações localizadas nesta área. Para a bacia incremental entre os AH Salto Santiago e Foz do Areia a precipitação média foi calculada por *Surfer* considerando as três estações pluviométricas localizadas na área e às três localizadas na sua proximidade.

Nesta aplicação considerou-se a previsão perfeita de precipitação, ou seja, assumiu-se como precipitação média diária prevista os valores calculados conforme descrito anteriormente.

A Figura 1 apresenta as distribuições empíricas de  $U(t)$  condicionadas a ocorrência de precipitação média na bacia no dia  $t$  maior que 7 mm (ALTA) e menor que 7 mm (BAIXA) e não condicionada. Observa-se a distinção entre as duas distribuições condicionadas de  $U(t)$ .

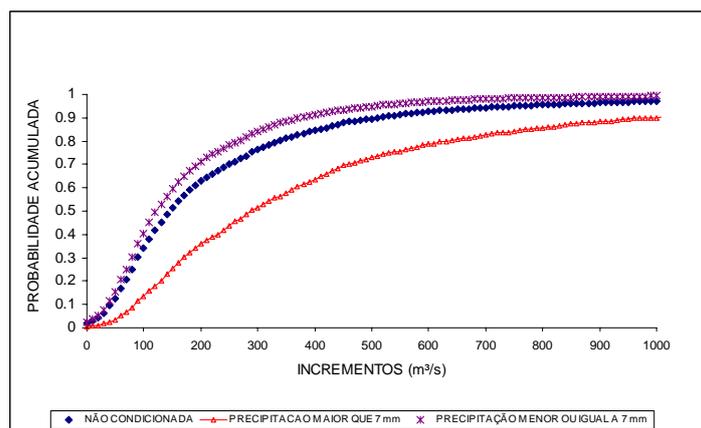


FIGURA 1 – Distribuições de probabilidades empíricas de  $U(t)$  condicionada a ocorrência de precipitação média na bacia no dia  $t$  maior que 7 mm, menor que 7 mm e não condicionada.

Neste estudo foram considerados três critérios de classificação da informação quantitativa de precipitação média na bacia:

- Considera-se apenas a informação de precipitação no dia a ser previsto (dia  $t$ ). Se a precipitação no dia  $t$  é maior que 7 mm, classifica-se como ocorrência de precipitação ALTA. Caso contrário classifica-se como ocorrência de precipitação BAIXA. Critério **CPrec1**.
- Considera-se não só a informação de precipitação no dia  $t$ , mas também nos dias  $t-1$  e  $t-2$ . Neste caso são criadas três classes de precipitação (ALTA/ALTA), (BAIXA/BAIXA) e (ALTA/BAIXA ou BAIXA/ALTA). Se a precipitação no dia  $t$  é maior que 7 mm e a soma das precipitações nos dias  $t-1$  e  $t-2$  é maior que 18 mm, classifica-se como ocorrência de precipitação ALTA/ALTA. Se a precipitação no dia  $t$  é menor que 7 mm e a soma das precipitações nos dias  $t-1$  e  $t-2$  é menor que 18 mm, classifica-se como ocorrência de precipitação BAIXA/BAIXA. Se a precipitação no dia  $t$  é maior que 7 mm e a soma das precipitações nos dias  $t-1$  e  $t-2$  é menor que 18 mm, classifica-se como ocorrência de precipitação ALTA/BAIXA e se a precipitação no dia  $t$  é menor que 7 mm e a soma das precipitações nos dias  $t-1$  e  $t-2$  é maior que 18 mm, classifica-se como ocorrência de precipitação BAIXA/ALTA. Critério **CPrec2**.
- Considera-se apenas a informação de precipitação no dia a ser previsto (dia  $t$ ). Entretanto divide-se as distribuições dos incrementos de vazão em três classes: se a precipitação no dia  $t$  é menor que o valor crítico 1, então classifica-se como ocorrência de precipitação BAIXA, se a precipitação no dia  $t$  encontra-se entre o valor crítico 1 e valor crítico 2, ocorrência de precipitação MÉDIA e se a precipitação no dia  $t$  é superior ao valor crítico 2, classifica-se como ocorrência de precipitação ALTA. Neste critério a distribuição dos incrementos de vazão associada a classe ALTA não é estimada de forma sazonal, sendo uma mesma distribuição para todo o ano. Denominaremos este critério **CPrec3** quando o valor crítico 1 for 7 mm e valor crítico 2 for 20 mm.

O período de 1982 a 2000 das séries históricas diárias de vazões e precipitações médias na bacia foi dividido em dois períodos, os 9 primeiros anos serviram para a estimação dos parâmetros do modelo e os restantes 10 anos foram então utilizados para verificação da performance do modelo. Utilizou-se o modelo PREVIVAZ (6) para calcular as previsões, um passo a frente, das aflúncias semanais correspondentes as semanas dos 10 últimos anos (1991-2000).

#### 4.1 Análise dos erros de previsão da vazão diária e semanal obtidas pelo modelo PREVIVAZH considerando a informação de precipitação e sem considerar esta informação

A Tabela 1 apresenta a média dos valores absolutos do erro relativo da aflúncia prevista para cada dia da semana e para a média semanal, obtidos no período de verificação, considerando os três critérios de classificação da informação de precipitação média na bacia para o condicionamento da distribuição empírica dos incrementos de vazão (CPrec1, CPrec2 e CPrec3) e considerando a distribuição empírica dos incrementos de vazão não condicionada (SPrec).

TABELA 1 - Média dos valores absolutos do erro relativo da aflúncia prevista para cada dia da semana e para a semana.

Critério	Dia 1	Dia 2	Dia 3	Dia 4	Dia 5	Dia 6	Dia 7	Semana
SPrec	0,11	0,19	0,29	0,36	0,40	0,45	0,50	0,30
CPrec1	0,10	0,17	0,24	0,31	0,34	0,38	0,42	0,27
CPrec2	0,12	0,21	0,30	0,35	0,38	0,43	0,46	0,29
CPrec3	0,11	0,17	0,24	0,30	0,32	0,37	0,40	0,25

Pode-se observar na Tabela 1 o critério CPrec3 foi o que levou a maior redução na média dos valores absolutos dos erros relativos da previsão semanal (diferença entre as médias dos erros absolutos relativos de 0,05, correspondente a uma redução de 16%) e que esta redução se distribui ao longo dos sete dias da semana, começando a partir do segundo dia e alcançando uma redução máxima em 20% (diferença entre as médias dos erros absolutos relativos de 0,10) no sétimo dia. A Figura 2 apresenta para o primeiro, terceiro, quinto e sétimo dias da semana os gráficos das médias dos valores absolutos dos erros relativos da previsão ao longo das 52 semanas do ano.

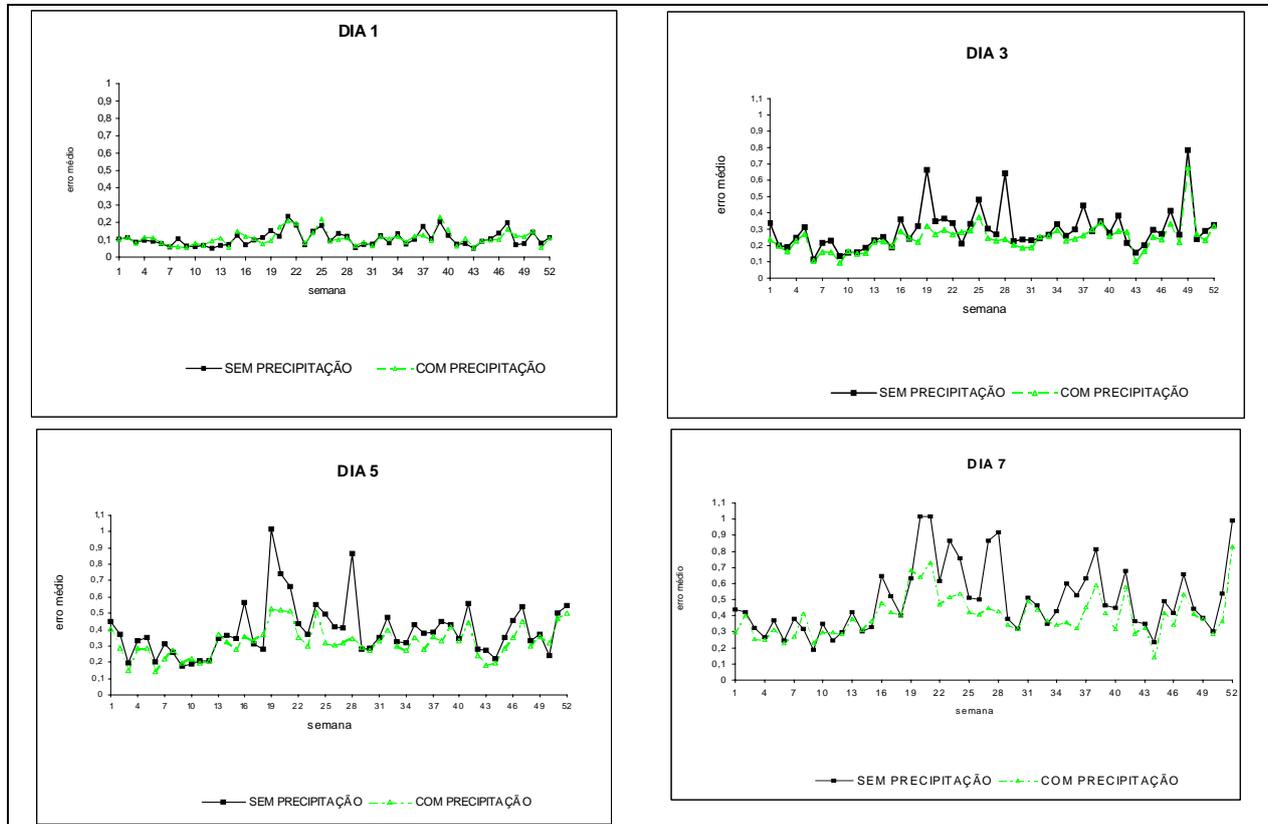


FIGURA 2 – Média dos valores absolutos dos erros relativos da previsão de afluências do primeiro, terceiro, quinto e sétimo dias da semana ao longo das 52 semanas do ano

#### 4.2 Análise do erro da previsão da vazão semanal

Neste item é feita uma análise dos erros absolutos relativos da previsão semanal, quando esta é obtida considerando-se apenas as afluências semanais das últimas semanas (PREVIVAZ) e quando obtém-se a previsão da afluência semanal através da média das afluências diárias previstas obtidas considerando as duas últimas afluências diárias observadas e a informação quantitativa de precipitação para os sete dias da semana pelo PREVIVAZH conforme critério CPrec3. As Figuras 3 e 4 apresentam as densidades de probabilidades e as distribuições acumuladas dos erros absolutos relativos das previsões de afluências semanais obtidas pelo PREVIVAZ e pelo PREVIVAZH, para os 10 anos do período de verificação, enquanto a Tabela 2 apresenta as estatísticas destes erros. Pode-se notar que a inclusão da precipitação e das informações mais recentes de vazão provoca uma redução de pouco mais de 25%, tanto na média, quanto no desvio padrão dos erros das previsões. O uso destas informações faz com que os erros com permanência de 50%, 90%, 95% e 99% sejam também reduzidos conforme a Tabela 2 (redução média de 29%).

Comparando-se as funções densidade de probabilidades apresentadas na Figura 3, pode-se observar que a distribuição dos erros das previsões obtidas utilizando as informações de precipitação e de vazões diárias recentes apresentam uma significativamente maior concentração de densidade na faixa de valores inferiores a 0,3, enquanto que a faixa de maior concentração dos erros das previsões obtidas sem o uso destas informações é mais ampla. Na Figura 4 pode-se ver que para uma mesma probabilidade acumulada o erro da previsão obtida sem precipitação e vazões diárias é maior que o erro da previsão obtida com estas informações.

TABELA 2 – Estatísticas dos erros absolutos relativos da previsão semanal.

Uso de precipitação/vazões diárias	Média	Desvio Padrão	Mediana	Quantil 90%	Quantil 95%	Quantil 99%
Sem	0,34	0,26	0,31	0,67	0,80	1,19
Com	0,25	0,19	0,20	0,50	0,60	0,83
Redução (%)	26%	27%	35%	25%	25%	30%

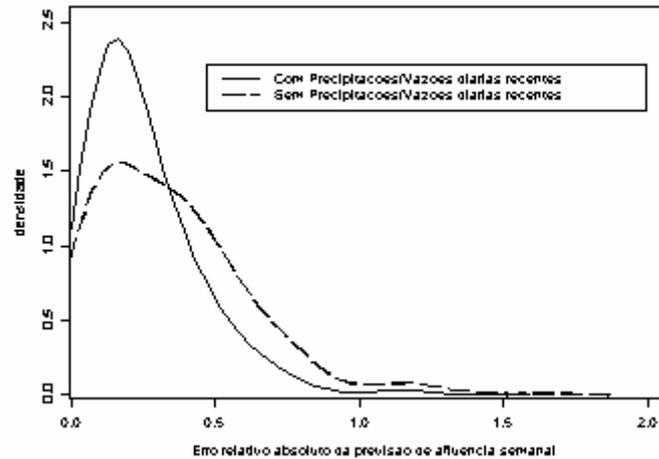


FIGURA 3 – Funções densidades de probabilidades dos erros absolutos relativos das previsões de aflúências semanais.

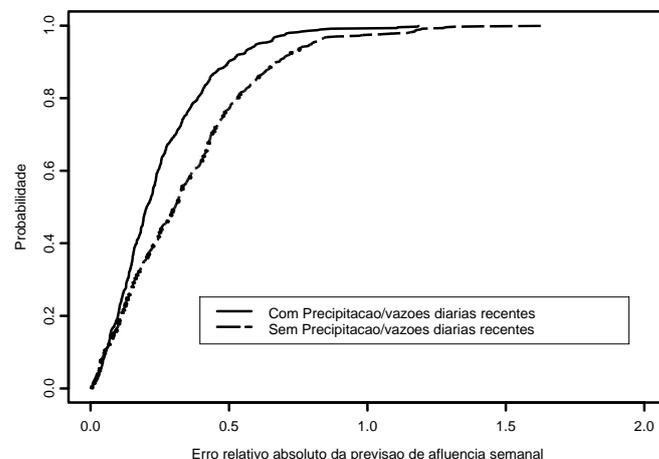


FIGURA 4 – Distribuições acumuladas de probabilidades dos erros absolutos relativos das previsões de aflúências semanais.

## 5.0 - CONCLUSÃO

Este artigo apresentou resultados recentes do desenvolvimento do modelo PREVIVAZH incorporando informação quantitativa de precipitação para a obtenção de previsão de aflúências diárias e semanais. O caso estudo foi o aproveitamento hidroelétrico de Salto Santiago, no rio Iguazu, na região sul do Brasil, tendo sido analisadas as previsões diárias de 1 a 7 dias de antecedência e as previsões associadas à próxima semana.

Os resultados deste estudo mostraram que a melhor opção para incorporar a informação de precipitação, dentro desta abordagem, é condicionar a distribuição dos incrementos de vazão, no caso de Salto Santiago, apenas à precipitação média no dia da previsão, tendo-se calibrado dois valores críticos 7 e 20 mm, resultando em três distribuições condicionadas: chuva BAIXA (menor que 7 mm), MÉDIA (entre 7 e 20 mm) e ALTA (maior que 20 mm).

Com esta implementação foi possível reduzir a média dos valores absolutos do erro relativo de previsão do PREVIVAZH da semana de 30% para 25%. Esta redução não se distribuiu uniformemente ao longo da semana, no primeiro dia não foi observado ganho, o que é explicado pela forte influência dos últimos incrementos de vazão observados. A partir do segundo dia observou-se ganhos crescentes reduzindo-se o erro absoluto médio no sétimo dia de 50% para 40%.

Em relação a previsão semanal obtida pelo PREVIVAZ (que só considera as afluição semanais passadas), a consideração das duas últimas afluições diárias observadas e da precipitação, através do PREVIVAZH, reduziu o erro médio de 34% para 25%, sendo esta redução mais acentuada nos quantis superiores da distribuição dos erros.

Deve-se ressaltar que estes ganhos foram obtidos considerando-se a classificação perfeita do estado da precipitação. Em sistemas reais de previsão estes ganhos podem ser reduzidos, sendo necessários outros estudos com históricos de previsão de precipitação para quantificar precisamente estes ganhos. Note que sistemas de previsão baseados em classificação do estado de precipitação (o que não é o caso quando se usa modelo determinístico chuva-vazão) e não no valor exato da previsão de precipitação, tendem a tornar o sistema de previsão de vazão mais robusto, em relação a pequenos erros de previsão quantitativa de precipitação.

## 6.0 - AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao ONS - Operador Nacional do Sistema em especial ao Engenheiro Luis Guilherme Guilhon e ao Meteorologista Marcio Cataldi pelo fornecimento das séries históricas diárias de vazão, de precipitação e de precipitação média utilizadas neste estudo.

## 7.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) CEPEL, PREVIVAZH – Modelo Estocástico de Previsão de Vazões Diárias, Especificação Técnica, Relatório Técnico DDP/PEL 591/99, Rio de Janeiro, Brasil, 1999.
- (2) Livino de Carvalho, A. R.; Previsão de Afluições Diárias Considerando Horizonte de 1 a 7 Dias Através de Uma Abordagem Estocástica – Modelo Previvazh. Tese de Mestrado em Engenharia Civil. Rio de Janeiro: COPPE/ UFRJ, 2001.
- (3) Livino de Carvalho, A. R; Costa, F. S.; Damázio, J. M.; Guilhon, L. G. F., “Previsão de Vazões Diárias através de uma Abordagem Estocástica – Modelo PREVIVAZH”, In XIV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Aracaju, SE, Brasil, 2001.
- (4) Costa, F. S.; Damázio, J. M., Livino de Carvalho, a. r. e Dantas, h. m.; “PREVIVAZH – Modelo Estocástico de Previsão de Vazões Diárias”, In: Trabajos Tecnicos do Seminário Internacional sobre Hidrologia Operativa , CIER; Tema 3 – RT41 - Salto Grande, A.R., Maio 2000.
- (5) Costa, F. S.; Damázio, J. M; Denicio, S. M., Uso de Informação Quantitativa de Precipitação na Previsão de Vazões Diárias Através de uma Abordagem Estocástica, In XXI Congresso Latinoamericano de Hidráulica São Pedro, São Paulo, Brasil, Outubro 2004.
- (6) CEPEL, Modelo de Previsão de Vazões Semanais Aplicado ao Sistema Hidroelétrico Brasileiro – PREVIVAZ, Relatório Técnico DPP/PEL 125/97, Rio de Janeiro, Brasil, 1997.
- (7) Kelman,J., Damázio, J.M., Costa, J.P., Geração de Séries Sintéticas de Vazões Diárias – Modelo Diana, Revista Brasileira de Engenharia – Caderno Recursos Hídricos, vol.1, no 2, 1983, Brasil.
- (8) CEPEL, Geração de Séries Sintéticas de Vazões Diárias – Programa Diana, Relatório Técnico DPP/PEL 099/99, Rio de Janeiro, Brasil, 1999.
- (9) CEPEL, Incorporação da Informação Quantitativa de Precipitação na Previsão de Vazão Diária no modelo PREVIVAZH – Estudo Piloto UHE Foz do Areia, Relatório Técnico DP/DEA 5643/04, 2004, Rio de Janeiro, Brasil.
- (10) CEPEL, Incorporação da Informação Quantitativa de Precipitação na Previsão de Vazão Diária no modelo PREVIVAZH – Estudo Piloto UHE Salto Santiago, Relatório Técnico DP/DEA1347/04, 2004, Rio de Janeiro, Brasil.