



**XXIV SNPTEE**  
**SEMINÁRIO NACIONAL DE PRODUÇÃO E**  
**TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA**

**CB/GOP/04**

**22 a 25 de outubro de 2017**  
**Curitiba - PR**

## **GRUPO - IX**

### **GRUPO DE ESTUDO DE OPERAÇÃO DE SISTEMAS ELÉTRICOS- GOP**

#### **AVALIAÇÃO DO USO DE INFORMAÇÃO DE CHUVA PARA PREVISÕES DE VAZÕES NO PLANEJAMENTO DA OPERAÇÃO DE CURTO PRAZO**

**Juan P. Colonese \***  
**CEPEL**

**Luciano N.R. Xavier**  
**CEPEL**

**Maria Elvira P. Maceira**  
**CEPEL**

**Jorge M. Damázio**  
**CEPEL**

**Otto C. Rotunno Filho**  
**COPPE/UFRJ**

## **RESUMO**

O planejamento da operação do sistema elétrico brasileiro depende de informações acerca da disponibilidade futura de vazões afluentes às usinas hidroelétricas. O modelo PREVIVAZH foi desenvolvido para fornecer previsões diárias para o planejamento de curto prazo. Esse modelo permite a utilização de informações de previsão de precipitação para condicionar suas previsões de vazões. Este trabalho avalia o impacto das previsões de chuva obtidas pelo modelo ETA nos erros das previsões de vazões do PREVIVAZH em quatro bacias da Região Sul. De forma geral, mostra-se que a abordagem adotada pelo PREVIVAZH é pouco sensível aos erros contidos nas previsões de chuva.

## **PALAVRAS-CHAVE**

Previsão de Vazões, Previsão Numérica de Precipitação, Planejamento da Operação de Curto Prazo.

### **1.0 - INTRODUÇÃO**

A matriz de geração de energia elétrica no Brasil é composta, majoritariamente, por fontes hidráulicas complementadas por outras fontes (1). Com os recentes investimentos em grandes empreendimentos hidroelétricos na região norte do país, pode-se afirmar que este cenário não deve mudar no futuro próximo.

As vazões afluentes a cada uma das usinas hidroelétricas (UHE) que compõe o Sistema Interligado Nacional (SIN) apresentam comportamentos distintos entre si, uma vez que refletem características próprias das respectivas bacias hidrográficas em que se localizam. A variabilidade temporal e o caráter aleatório das vazões fluviais tornam as decisões acerca da operação do SIN dependentes no tempo. Assim, estimativas de boa qualidade sobre a disponibilidade de água futura em cada uma das bacias que compõem o SIN são primordiais para garantir a melhor tomada de decisão no processo de planejamento.

No planejamento da operação de curto prazo o Operador Nacional do Sistema (ONS) elabora, a cada mês, o Programa Mensal da Operação (PMO), no qual são definidas metas de geração para um grupo de usinas de todo o SIN. No PMO previsões de vazões são necessárias e utilizadas como dados de entrada no processo de definição da política operativa. No calendário atual de elaboração do PMO são necessárias, a cada semana, previsões de vazões diárias para dois dias à frente para completar a semana em curso e previsões para as demais semanas (de uma a seis semanas) do mês operativo em planejamento. Para obtenção de previsões de duas ou mais semanas à frente o ONS utiliza o modelo estocástico de previsão de vazões semanais PREVIVAZ (2) para todas as UHE's do SIN. Já para a primeira semana do PMO, são utilizados para algumas bacias selecionadas outros modelos para previsão de vazões para até dez dias à frente. O ponto em comum entre tais modelos é a utilização (segundo diferentes abordagens) de previsões numéricas de precipitação do modelo ETA (3).

A utilização de dados de precipitação para modelagem e previsão de vazões é motivada pela sabida relação entre essas variáveis. Por outro lado, a vazão fluvial é resultado de diversos processos não lineares de transferência de água entre a atmosfera e o solo, os quais não são necessariamente conhecidos na escala da bacia. Assim, é uma opção natural buscar estimar o comportamento das vazões a partir de informação sobre a chuva. Porém, as incertezas presentes nas previsões numéricas de chuva, associadas, principalmente, a questões de previsibilidade do tempo, representação de processos formadores de chuva em escala menores do que a do modelo e dificuldade de representação do estado inicial da atmosfera, são acrescentadas à lista de incertezas provenientes da modelagem (indireta ou não) de processos hidrológicos complexos para fins de previsão de vazões.

Os modelos utilizados para previsão de vazões na primeira semana do PMO adotam diferentes abordagens para, primordialmente, capturar a relação entre precipitação e vazão. Para tal tarefa são utilizadas técnicas que abrangem modelos que: I) simulam alguns dos processos físicos para geração de vazões (4), (5); simulam a relação entre chuva e vazão através de lógica Fuzzy (6); e III) combinam um modelo de base física com outros de natureza estatística (7). Para previsões de vazões diárias o CEPEL desenvolveu o modelo PREVIVAZH (8), o qual, basicamente, fornece como previsão de vazão diária um dos cenários sintéticos gerados considerando ou não a informação de precipitação. Na abordagem do PREVIVAZH a previsão de precipitação é utilizada como uma informação categórica e, portanto, desvios sistemáticos ou erros de magnitude não muito grosseiros nas previsões de chuva não interferem no processo de previsão de vazões.

Dessa forma, este trabalho tem como objetivo avaliar o uso de informação de precipitação proveniente do modelo atmosférico ETA como insumo para previsões de vazões para uso no horizonte da primeira semana do PMO e realizadas com modelo PREVIVAZH. Para tal, serão avaliados os erros de previsão de chuva de forma a subsidiar a análise de seus impactos sobre a previsão de vazões segundo a abordagem adotada pelo PREVIVAZH.

## 2.0 - MÉTODOS

Nessa seção serão apresentados os procedimentos utilizados para, primeiramente, avaliar os erros de previsão de precipitação e posterior previsão de vazões com o PREVIVAZH. Os principais conceitos adotados na formulação do modelo serão brevemente expostos.

### 2.1 Avaliação das Previsões de Precipitação

As previsões de precipitação foram obtidas a partir de rodadas diárias do modelo atmosférico ETA com resolução espacial de 15 km. A média espacial dos acumulados previstos de chuva a cada 24 horas foi calculada para quatro bacias na região sul do Brasil, que se caracteriza por volumes mensais de chuva com pouca variação ao longo do ano, porém com alta variabilidade na escala diária. As áreas nas quais o presente trabalho se concentra, correspondem às áreas de drenagem das usinas hidroelétricas de Capivara (061), Salto Santiago (077), Itá (092) e Passo Real (111), as quais estão representadas na Figura 1.

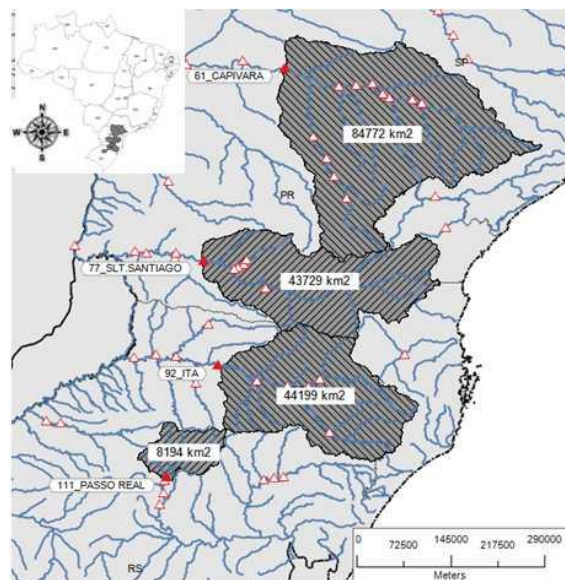


FIGURA 1 – Bacias de drenagem das UHE's Capivara (061), Salto Santiago (077), Itá (092) e Passo Real (111)

A partir de dados observacionais, as previsões diárias de chuva foram avaliadas no período entre 01/01/2001 e 31/10/2012, a cada horizonte de previsão, quanto ao seu grau de associação, ao seu poder de discriminação, a sua destreza e a sua confiabilidade. Foi calculado, ainda, o erro quadrático médio das anomalias de previsão ( $RMSEp$ ) para cada horizonte considerado. Esta métrica é definida por

$$RMSEp = \left\{ \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [(Prev_i - \overline{Prev}) - (Obs_i - \overline{Obs})]^2 \right\}^{1/2}$$

EQUAÇÃO 1

Os dados considerados para chuva observada, referência para qualquer exercício de avaliação de previsões, foram obtidos por médias espaciais dos acumulados diários de chuva do produto MERGE (9) produzidos e disponibilizados pelo CPTEC/INPE<sup>1</sup>.

O grau de associação foi avaliado a partir do cálculo da correlação entre os valores observados e previstos segundo método de *Spearman* (10), o qual é menos sensível a valores discrepantes e comuns em séries de precipitação. O grau de confiabilidade foi avaliado através do cálculo dos erros de previsão ( $erro = Prev - Obs$ ) e da análise das diferenças entre as distribuições dos erros de subestimativas ( $erro < 0$ ) e os de superestimativas ( $erro > 0$ ) por teste de Mann-Whitney e seu respectivo estimador para magnitudes das diferenças (10). O poder de discriminação foi avaliado através da construção de um diagrama tipo ROC (10), o qual relaciona as probabilidades de detecção (POD) e de falsa detecção (POFD) para diferentes magnitudes de chuva. Para um evento, previsão de chuva maior ou menor do que um limiar  $P^*$ , esses valores são calculados a partir da construção de uma tabela de contingência, como a apresentada na Tabela 1.

TABELA 1 - Tabela de contingência para um limiar  $P^*$  de magnitude de chuva.

Previsto ( $P(t) \geq P^*$ )	Observado ( $P(t) \geq P^*$ )	
	SIM	NÃO
SIM	Acerto (A)	Falso Alarme (B)
NÃO	Não Detecção (C)	Correta Rejeição (D)

A POD indica a frequência de detecção do evento dado que ele ocorreu; já a POFD indica a frequência com que o evento é previsto dados que eles não ocorreram. Portanto, seguindo as definições apresentadas na Tabela 1,

$$POD = \frac{A}{A + C}$$

EQUAÇÃO 2

$$POFD = \frac{B}{B + D}$$

EQUAÇÃO 3

No diagrama ROC construído, cada linha representa a destreza do modelo em prever precipitação em um dado horizonte. Cada ponto que compõe a linha representa o par ordenado (POFD, POD) para um dado limiar de chuva dispostos de maneira ordenada. Um modelo cujas previsões são simplesmente a climatologia da região estaria sob a linha diagonal que divide ao meio a área do diagrama. Portanto, esta linha representa um limiar de destreza e qualquer curva com área sob si (AUC, do inglês *Area Under Curve*) acima de 0,5 possui poder de discriminação de eventos de chuva e destreza frente a um modelo hipotético simplório. O ROC representa, assim, a capacidade intrínseca das previsões em discriminar a ocorrência ou não de um evento binário.

## 2.2 Previsão de vazões diárias com modelo PREVIVAZH

Nessa seção, primeiramente serão apresentados, sumariamente, os principais procedimentos e conceitos adotados pelo modelo para previsão de vazões diárias e em seguida o esquema de rodadas do modelo com seus respectivos objetivos.

### 2.2.1 Modelo PREVIVAZH

O PREVIVAZH utiliza valores observados de vazão nos dois dias anteriores ao início da previsão, para gerar um grande número de cenários estocásticos de seqüências de vazões diárias para um determinado horizonte de tempo. Em um segundo momento e a partir de uma meta de vazão semanal definida previamente, o cenário cuja média na semana mais se aproxima da meta informada é escolhido e as previsões de vazões diárias serão os valores que compõem tal cenário. A informação de chuva é utilizada para condicionar a estimação de alguns parâmetros do modelo e para determinação das previsões diárias de acordo com a classe da chuva a cada dia, sendo possível considerar diferentes estações<sup>2</sup> e até três classes de chuva. Mais detalhes sobre os procedimentos adotados pelo modelo podem ser encontrados em (11). Na Figura 2 estão esquematizados os elementos que compõem o processo de previsão de vazões com o PREVIVAZH.

<sup>1</sup> <http://ftp.cptec.inpe.br/modelos/io/produtos/MERGE/>

<sup>2</sup> No contexto do PREVIVAZH, estações são períodos de tempo arbitrários definidos pelo usuário para os quais parâmetros próprios do modelo serão calculados. Nesse trabalho as estações são definidas como os meses do ano.

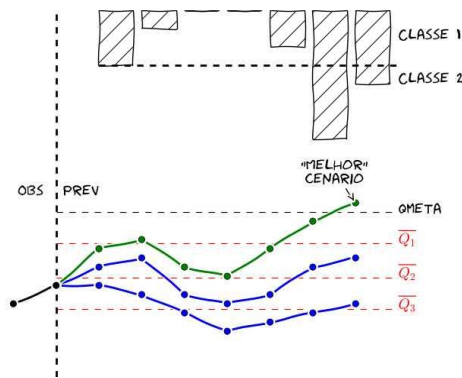


FIGURA 2 – Esquema hipotético de obtenção de previsões diárias com o PREVIVAZH.

Portanto, o modelo gera as previsões segundo, principalmente, (i) a tendência das vazões nos dias anteriores à data de previsão, (ii) a meta de vazão semanal informada como dado de entrada, (iii) os limiares de chuva considerados e (iv) a previsão de precipitação no mesmo horizonte desejado para a previsão de vazão. De forma a isolar as fontes de incerteza, a vazão meta semanal informada neste estudo foi a própria vazão observada nas semanas de previsão. As séries de precipitação são aquelas como apresentado em 2.1. Os dados de vazão são as séries de vazões diárias naturais disponibilizadas pelo ONS<sup>3</sup>.

### 2.2.2 Esquema para previsão de vazões

As principais questões avaliadas para configuração de rodadas para previsões com o PREVIVAZH dizem respeito à forma de se considerar série de chuva e de definição de limiares de classes de chuva. Assim, a fim de subsidiar a definição de classes mensais de chuva foi avaliado, ainda, o nível de associação entre as variáveis chuva e vazão considerando defasagens entre as séries e períodos de acumulação de chuva. Não é do escopo deste estudo exaurir a análise sobre métodos de definição de classes de chuva, portanto foram testados esquemas simples baseados na distribuição de probabilidade da série de chuva e diferentes percentis como limiares de classe. Além desses, foi testado o método de definição de limiares de chuva como proposto em (12), doravante chamado SEEPS. Esse é um método de avaliação da qualidade de previsões numéricas de precipitação que atribui pesos diferenciados aos erros cometidos em três classes de precipitação. Dado um histórico de chuvas em um local, a definição das classes de chuvas é feita calculando-se, primeiramente, a frequência de dias sem chuva ( $P_1 = x \mid x = \mathbb{P}\mathbb{I}(P \leq \rho_1), \rho_1 = 0,2 \text{ mm}$ ) ou probabilidade de tempo seco ( $P_1$ ). O limiar entre as classes de chuva forte e fraca ( $\rho_2$ ) é definido de tal forma, que o restante da massa de probabilidades seja dividido entre tais classes ( $1 - P_1 = P_2 + P_3$ ) segundo a proporção  $P_2/P_3 = 2$ .

Neste trabalho serão apresentados os esquemas com melhores resultados para cada variante em termos de acumulação de série de chuva e método de definição de limiares de classe em rodadas com previsão “perfeita” de chuva, ou seja, com série de dados observados. Após testes, cujos resultados não serão mostrados no escopo desse trabalho, mas são apresentados em (11), concluiu-se que, o esquema com melhor resultado com as séries de chuva observada foi também o de menor erro para rodadas com séries de previsões de chuva. Assim, apenas a melhor configuração testada com séries de previsão de precipitação do modelo ETA15 será aqui apresentada.

Por fim, o modelo testado foi utilizado para obtenção de previsões de vazões diárias e semanais entre os anos de 2007 e 2012 segundo o calendário do ano operativo de 2013.

## 3.0 - RESULTADOS

Nessa seção serão apresentados os principais resultados encontrados para avaliação dos erros contidos na previsão de precipitação nas quatro bacias consideradas; os resultados das rodadas do modelo PREVIVAZH serão apresentados apenas para o posto de Itá (092).

### 3.1 Avaliação das previsões de precipitação

Em termos de correlação as previsões para as quatro bacias analisadas apresentaram resultados semelhantes. Em todos os casos os coeficientes são decrescentes com os horizontes de previsão com máximo em torno de 0,8 para previsões um dia à frente e mantendo valores acima de 0,6 até quatro dias à frente.

A avaliação dos erros nas previsões de chuvas diária indicaram maiores erros na menor das bacias analisadas, Passo Real com RMSEp entre 9,2 e 15,8 mm. Para bacia da UHE Capivara, os resultados indicaram presença de viés para superestimativas tanto em frequência quanto em magnitude, porém maior aderência aos padrões gerais observados traduzidos em RMSEp variando entre 6,5 e 9,0 mm. Já para as demais bacias as análises indicaram presença de viés para subestimativas, principalmente, nos horizontes para além do primeiro dia. Em todos os casos

<sup>3</sup> [http://www.ons.org.br/operacao/vazoes\\_naturais.aspx](http://www.ons.org.br/operacao/vazoes_naturais.aspx)

as previsões das primeiras 24h se mostraram mais propensas a erros sistemáticos positivos do que para os demais horizontes, como verificado na Tabela 2, onde estão mostrados os resultados para o teste de Mann-Whitney de comparação entre as distribuições de erros positivos e negativos.

TABELA 2 – Magnitude das diferenças estimadas entre erros positivos e negativos, em mm. Células em destaque indicam rejeição da hipótese de distribuições semelhantes em teste de Mann-Whitney com 5% de significância.

Bacia	Horizonte de previsão										$\bar{x}$
	1d	2d	3d	4d	5d	6d	7d	8d	9d	10d	
Capivara	1,0	0,6	0,3	0,3	0,3	0,2	0,4	0,3	0,1	0,3	0,4
Salto Santiago	0,0	-0,5	-0,6	-0,6	-0,6	-0,5	-0,6	-0,8	-0,5	0,0	-0,5
Itá	-0,1	-0,8	-1,2	-0,9	-1,0	-1,1	-1,1	-0,9	-0,7	-0,6	-0,8
Passo Real	-0,5	-0,8	-1,5	-1,3	-1,5	-1,1	-1,0	-1,1	-1,3	-0,9	-1,1

Por outro lado, nos horizontes mais próximos foram encontrados maiores níveis de destreza e poder de discriminação em todas as bacias, como pode ser observado na Figura 3, na qual estão mostrados os diagramas ROC para as quatro bacias. Nas Figuras é possível analisar as curvas a partir de dois recortes: o primeiro analisando, para cada limiar de precipitação, que para todos os limiares, em todas as bacias, há diminuição da POD com o avanço do horizonte de previsão. Para limiares de precipitação de menor magnitude, a POFD aumenta com o avanço dos horizontes de previsão, porém, para limiares maiores, um avanço no horizonte de previsão não significa aumento na probabilidade de falsa detecção. Esse efeito é observado para todas as bacias, porém, em menor magnitude para Passo Real. Nessa última são observados, ainda, os menores valores de POD e POFD para horizontes e limiares semelhantes em qualquer uma das demais bacias.

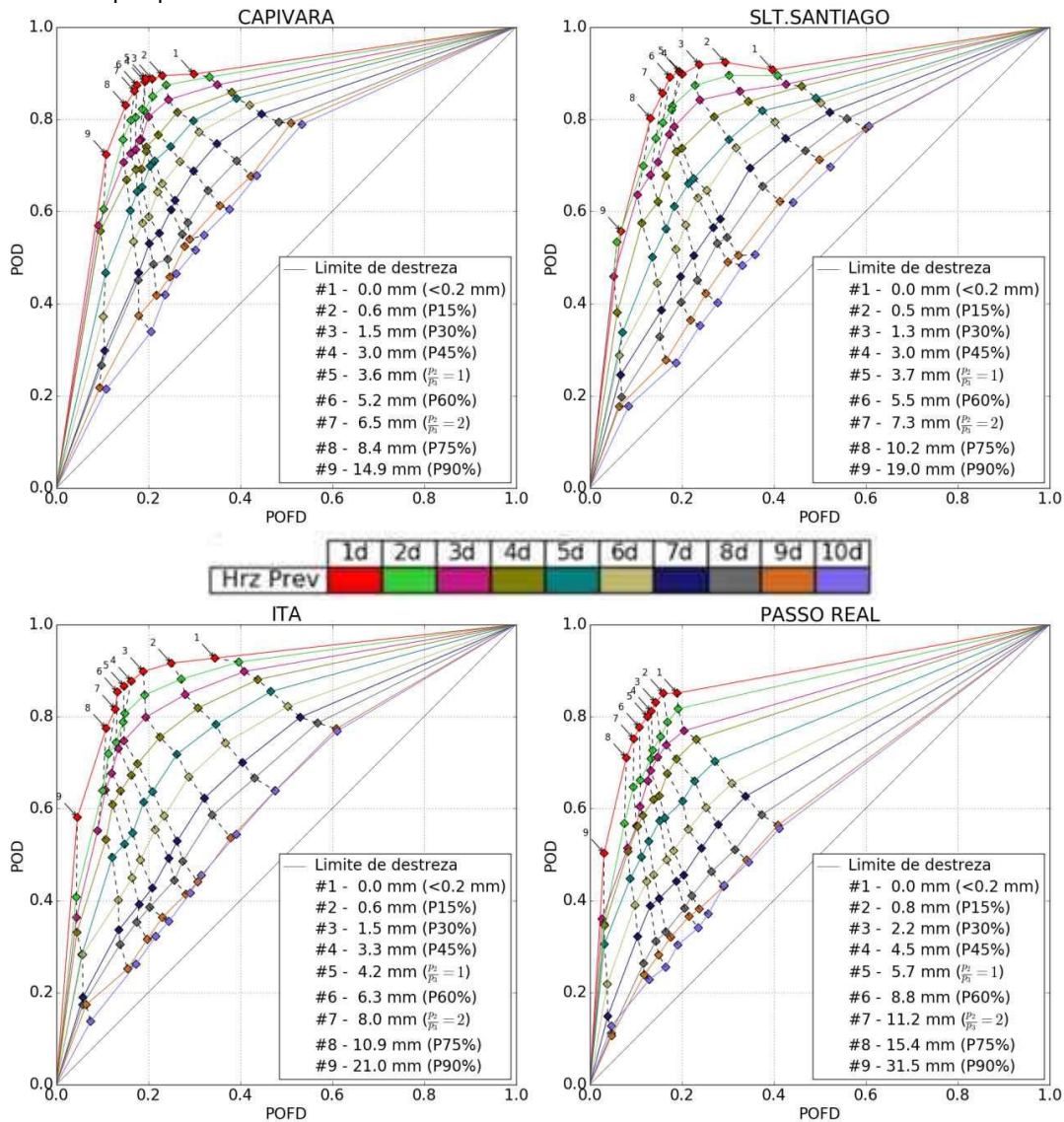


FIGURA 3 – Diagramas ROC para previsões de precipitação do modelo ETA15 para quatro bacias do SIN.



O segundo recorte possível é analisar as áreas sob as curvas (AUC) para cada horizonte; nessa análise, verificou-se que os valores de AUC são menores na medida em que aumentam os horizontes de previsão, ou seja, como esperado, o modelo perde capacidade preditiva com o avanço nos horizontes de previsão. Essa afirmação é corroborada pelos valores de AUC calculados, conforme mostrado na Tabela 3. Ainda que valores de AUC superiores a 0,5 tenham sido verificados para todos os horizontes, observa-se que, para prazos mais curtos (até três dias), o modelo possui melhor desempenho na bacia de Itá. Por outro lado, a partir de cinco dias à frente o melhor desempenho passa a ser observado na bacia de Capivara. A bacia de Passo Real é aquela com pior desempenho em todos os horizontes de previsão. Além disso, pode-se observar que a piora no desempenho do modelo em função do aumento do horizonte de previsão é mais acentuada nas bacias de Passo Real e Itá.

TABELA 3 – Área sob as curvas (AUC) do diagrama ROC para cada bacia e diferentes horizontes de previsão. Destaque para maiores valores a cada horizonte.

Bacia	Horizonte de previsão									
	1º dia	2º dia	3º dia	4º dia	5º dia	6º dia	7º dia	8º dia	9º dia	10º dia
Capivara	0,868	0,851	0,837	0,817	0,790	0,761	0,727	0,696	0,669	0,650
Salto Santiago	0,877	0,862	0,841	0,813	0,770	0,745	0,706	0,670	0,631	0,611
Itá	0,898	0,870	0,848	0,817	0,774	0,732	0,685	0,654	0,611	0,602
Passo Real	0,876	0,843	0,815	0,796	0,754	0,707	0,670	0,623	0,595	0,586

### 3.2 Previsão de vazões – bacia da UHE Itá

Os resultados indicaram que os níveis de associação entre as variáveis chuva e vazão foram potencializados a partir da acumulação da primeira em quatro, três, três e dois dias (antecedentes ao início da previsão) nas bacias de Capivara, Salto Santiago, Itá e Passo Real, respectivamente. Quando analisados a partir de séries de precipitação prevista nessas bacias, os níveis de associação entre as variáveis diminuíram mais fortemente a partir do quinto dia de previsão. Além disso, os maiores níveis de associação foram encontrados em dias com chuva mais forte e vazões ascendentes, como esperado.

Considerando a bacia da UHE Itá, as previsões de vazões semanais realizadas com uso de informação de precipitação “perfeita” ou valores observados acumulados em três dias e limiares de classe definidos pelos percentis 30 e 60% da distribuição dos dias com chuva na bacia (rodada P4, como mostrado da Tabela 4) apresentaram, em média, ganhos de 25% em relação aos casos que não a utilizam. Quando utilizadas as previsões de chuva acumulados por três dias (rodada P5), os erros na previsão semanal aumentaram 8% em relação ao caso com previsão perfeita, porém foram, ainda, 20% menores do que no caso sem uso de informação de chuva. Para previsões de vazões diárias, os maiores ganhos obtidos a partir do uso da informação da chuva se deram nos horizontes de previsão mais distantes e na rodada P4 (26% e 43% nos horizontes de oito e nove dias, respectivamente). Esses resultados estão mostrados na Tabela 4.

TABELA 4 – Erro absoluto médio percentual nas previsões diárias e semanais nas rodadas com PREVIVAZH para bacia da UHE Itá. Destaque para configuração com menor erro a cada horizonte.

Rodada	Série de Chuva	Acumulação Chuva (dias)	Classes	Sem.	1º dia	2º dia	3º dia	4º dia	5º dia	6º dia	7º dia	8º dia	9º dia
Sem Chuva	-	-	-	7,9	14,6	23,3	28,1	29,2	27,5	23,7	24,8	35,7	59,5
P1	Observada	1	SEEPS	6,1	15,5	21,8	25,8	25,6	25,1	22,5	26,7	33,3	45,8
P2	Observada	1	30/60%	6,1	16,3	23,5	25,9	26,0	24,5	21,6	24,0	30,0	44,5
P3	Observada	3	SEEPS	8,5	14,6	24,1	27,0	25,4	23,0	22,7	25,3	31,4	42,6
P4	Observada	3	30/60%	5,9	14,6	20,2	21,7	22,3	21,3	20,0	23,4	28,4	41,6
P5	Previsão ETA15	3	30/60%	6,4	13,9	20,8	26,3	25,1	24,5	23,0	25,6	30,9	43,1

Mesmo que, em termos médios, os resultados a partir do uso de informação de chuva tenham indicado um melhor desempenho do modelo, algumas rodadas apresentaram maiores erros nesta situação. A análise desses casos indicou que o melhor desempenho apresentado pelo modelo de previsão de vazões, a partir do uso de dados de chuva, deu-se em semanas de vazões ascendentes. Por outro lado, em períodos de vazões em recessão o desempenho desse modelo foi melhor quando não utilizada informação de chuva. Esses resultados são apresentados na Tabela 5.

TABELA 5 – Erro percentual absoluto médio separado por classe de variação das vazões nas semanas de previsão na bacia da UHE Itá.

Vazão	Sem Chuva (%)	Chuva Obs. (%)	Chuva Prevista (%)
Ascendente	10,0	3,1	3,2
Descendente	6,5	7,9	8,6

Na escala diária, ao separar os erros de previsão de vazões de acordo com as classes de erros de previsão de chuva (rodada P5, conforme Tabela 4), não é possível identificar influência dos erros de previsão de chuva para previsão de vazões, como mostrado na Figura 4 – (a). Nessa Figura, é possível identificar que os erros nas previsões de vazões aumentam com o horizonte de previsão, porém os níveis de erros são semelhantes dentro de cada horizonte independentemente da classe de erros de previsão de chuvas ou até mesmo nos casos de previsão correta. Apenas nos horizontes de oito e nove dias à frente podem ser observados grandes erros de superestimativas de chuva (cores frias) associados a grandes erros nas previsões de vazões. Esses resultados são obtidos mesmo que, como esperado e também reportado na seção 3.1, a frequência de erros de previsão de chuva nas diferentes classes aumente ao longo dos horizontes de previsão, como mostrado na Figura 4 – (b).

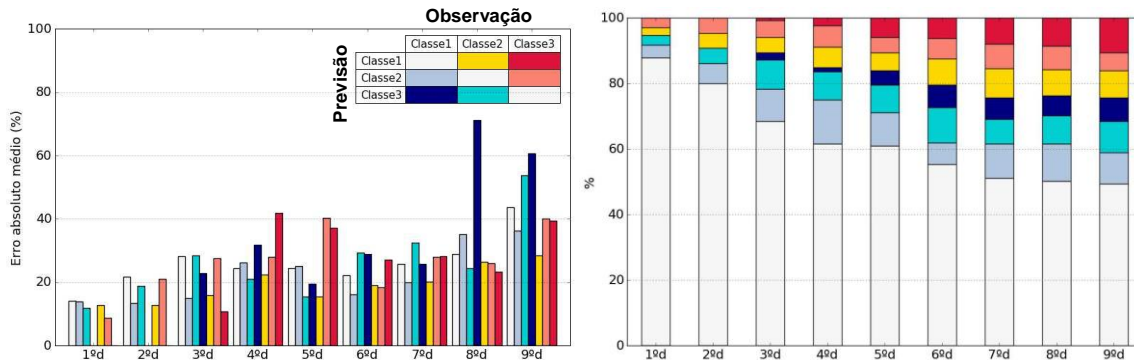


FIGURA 4 – (a) Erro Absoluto médio de previsão para vazões diárias na bacia da UHE Itá considerando classes de erro na previsão de chuva; (b) Frequência de ocorrência dos erros por classe e ao longo dos horizontes de previsão.

#### 4.0 - CONCLUSÕES

Este trabalho se dedicou à análise do impacto do uso de previsões de precipitação média geradas pelo modelo atmosférico ETA15 em quatro bacias associadas à UHE's na Região Sul do Brasil. A avaliação dos erros nas previsões de precipitação indicou, para todas as bacias, presença de erros sistemáticos, principalmente, para horizontes mais curtos e com maiores magnitudes na bacia da UHE Capivara. Por outro lado, sobre a capacidade de discriminação entre a ocorrência ou não de diferentes eventos de precipitação, segundo diferentes critérios para definição de classes de chuva, as previsões se mostraram aderentes aos dados observados e, como esperado, com capacidade decrescente em relação aos horizontes de previsão.

Os resultados obtidos nas simulações com o modelo PREVIVAZH mostraram ganhos com a utilização de informação de precipitação prevista. Esses ganhos foram obtidos, principalmente, em semanas de vazões ascendentes e ao se considerar períodos acumulados de chuvas nos dias anteriores ao início da previsão. A abordagem indireta para a consideração da informação de chuva adotada pelo PREVIVAZH parece tornar o modelo menos sensível aos erros sistemáticos encontrados nas previsões de chuva. De acordo com os resultados obtidos neste trabalho, mostrou-se, que os erros contidos nas previsões de precipitação geradas pelo modelo ETA, influenciariam pouco o desempenho das previsões de vazões nas escalas analisadas. Cabe ressaltar que, conforme indicado na seção 2.2.2, não foram avaliados de forma exaustiva métodos para a definição das classes de chuva, necessárias para a consideração e melhor aproveitamento de informação de chuva no PREVIVAZH.

As simulações com o PREVIVAZH foram feitas de forma a se isolar ao máximo as possíveis fontes de incerteza. Assim, a vazão meta necessária para definição do melhor cenário dentre os vários gerados foi a própria vazão observada. Para melhor avaliação da influência do uso de precipitação observada ou prevista (e seus erros) será preciso avaliar os próprios cenários de vazões diárias gerados pelo PREVIVAZH e sua sensibilidade quanto à qualidade dos dados de entrada. Nesse contexto, seria preciso avaliar, ainda, com mais detalhes a opção por se escolher uma única sequência de vazões diárias para servir como previsão e se os critérios atuais são satisfatórios. A possibilidade de se trabalhar com previsões probabilísticas a partir dos cenários de vazões diárias gerados pelo PREVIVAZH deve ser analisada, uma vez que o modelo possui a intrínseca vantagem de fornecer informações sobre a incerteza associada às suas previsões.

## 5.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). Balanço Energético Nacional 2016: Ano Base 2015. EPE – Rio de Janeiro, 2016.
- (2) MACEIRA, M.E.P., DAMÁZIO, J.M., GHIRARDI, A.O., DANTAS, H.M., “Periodic ARMA Models Applied to Weekly Streamflow Forecasts”. In: International Conference on Electric Power Engineering – PowerTech, Budapeste – Hungria, 1999.
- (3) MESINGER, F., CHOU, S. C., GOMES, J.L., JOVIC, D., BASTOS, P., BUSTAMANTE, J.F., LAZIC, L., LYRA, A.A., MORELLI, S., RISTIC, I., VELJOVIC, K. “An upgraded version of the Eta model”, *Meteorology and Atmospheric Physics* v. 116, pp. 63-79, 2012.
- (4) COLLISCHONN, W., TUCCI, C.E.M., CLARKE, R.T., CHOU, S.C., GUILHON, L.G., CATALDI, M., ALLASIA, D. “Medium-range reservoir inflow predictions based on quantitative precipitation forecasts”, *Journal of Hydrology* v.344, pp.112-122, 2007.
- (5) OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA (ONS). Aplicação de Modelos de Previsão de Vazões a Curto Prazo na Sub-Bacia do Baixo Rio Grande – Relatório Final ONS 141/11. Rio de Janeiro – Brasil, 2011.
- (6) EVSUKOFF, A., G., LIMA, B., S.L.P., EBECKEN, N.F.F. “Long-Term Runoff Modelling Using Rainfall Forecasts with Application to the Iguacu River Basin”, *Water Resources Management* v. 25, pp. 963-985, 2011.
- (7) FADIGA JR, F.M., LOPES, J.E.G., MARTINS, J.R.S., BARROS, M.T.L., SANTOS, R.C.P. “Modelos de previsão de vazões para bacia incremental à UHE Itaipu”, *Revista Brasileira de Recursos Hídricos* v.13, p. 65-75, 2008.
- (8) LIVINO DE CARVALHO, A.R., Previsão de Afluências Diárias para Horizontes de 1 a 7 dias Através de Uma Abordagem Estocástica. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2001.
- (9) ROZANTE, J.R., MOREIRA, D.S., GONCALVES, L.G.G., VILA, D.A. “Combining TRMM and Surface Observations of Precipitation: Technique and Validation over South America”, *Weather and Forecasting* v.25, pp. 885-894, 2010.
- (10) HELSEL, D.R., HIRSCH, R. M., “Statistical Methods in Water Resources”. In: UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY (USGS), *Hydrologic Analysis and Interpretation*, 1 ed., chapter A3. U.S. Geological Survey, 2002.
- (11) COLONESE, J.P., Uso de Dados de Precipitação em Modelos de Previsão de Vazões Diárias Utilizados no Planejamento da Operação do Sistema Interligado Nacional. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2016.
- (12) RODWELL, M.J., RICHARDSON, D.S., HEWSON, T.D., HAIDEN, T. “A new equitable score suitable for verifying precipitation in numerical weather prediction”, *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* v.136 (650), pp. 1344-1363, 2010.



## 6.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



Juan Pereira Colonese nasceu no Rio de Janeiro em 1989. Graduou-se Engenheiro Ambiental pela Universidade Federal do Rio de Janeiro em 2014. Este trabalho é parte de sua dissertação de Mestrado defendida em Setembro de 2016 no Programa de Engenharia Civil da COPPE/UFRJ na área de Recursos Hídricos e Meio Ambiente. É pesquisador do Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (CEPEL) desde 2015 e lá trabalha com Hidrologia Estocástica e Modelagem para Previsão de Vazões desde 2013.