



# ABRHidro

Associação Brasileira de Recursos Hídricos



## Previsão de Vazões Naturais Afluentes a um Reservatório Utilizando a Técnica de Redes Neurais Artificiais

MSc. Carlos da Costa Ferreira

Dr. Carlos Henrique Ribeiro Lima

Programa de Pós-graduação em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos

Universidade de Brasília - UnB



# INTRODUÇÃO

- ✓ Capacidade de geração de energia elétrica no Brasil é fortemente influenciada pelas usinas hidrelétricas.
- ✓ A previsão de vazões naturais afluentes aos reservatórios dessas usinas é insumo fundamental para o planejamento e programação da operação do SIN.
- ✓ O ONS é o órgão responsável pelas previsões de vazões naturais médias diárias, semanais e mensais de todos os locais de aproveitamento hidrelétrico do SIN.
- ✓ Atualmente o ONS realiza as previsões de vazões naturais diárias para a UHE Tucuruí com base no modelo estocástico univariado denominado PREVIVAZH.

# INTRODUÇÃO

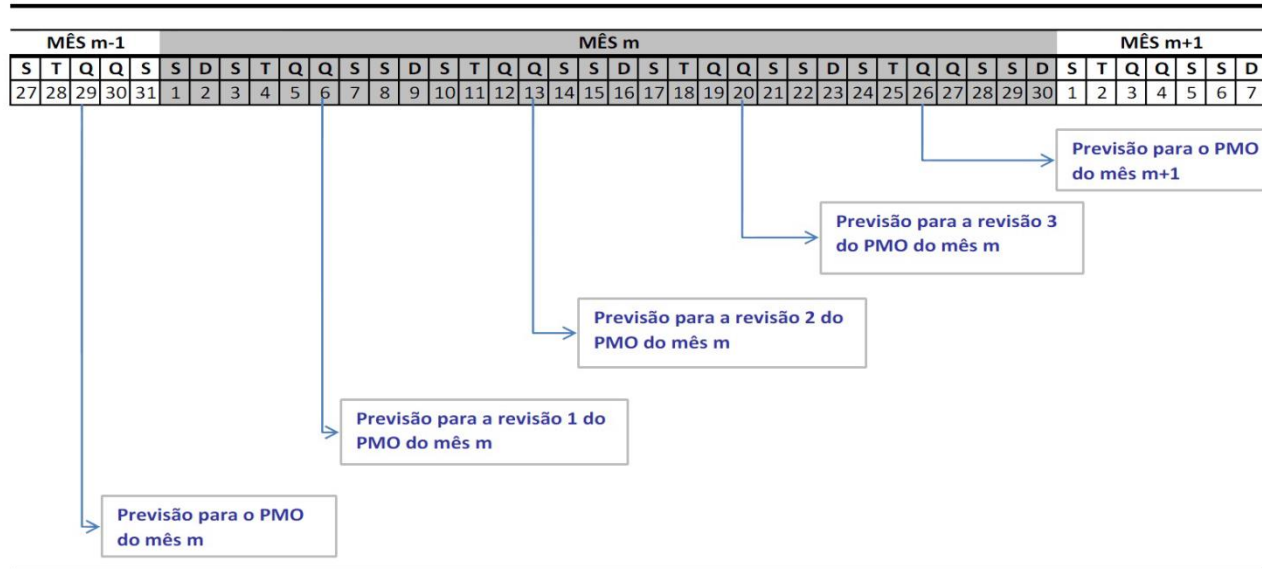


Figura 1. Esquema de elaboração das previsões para o PMO (ONS, 2010)

# OBJETIVO

- Calibrar um modelo de previsão de vazões médias diárias, utilizando a metodologia de Redes Neurais Artificiais, mais especificamente as redes construtivas do tipo NSRBN (Non-Linear Sigmoidal Regression Blocks Networks), no horizonte de 1 até 12 dias à frente, para a Usina Hidrelétrica UHE Tucuruí, considerando tanto as vazões naturais à montante do reservatório quanto dados de precipitação da bacia.



# DESCRIÇÃO DA ÁREA EM ESTUDO

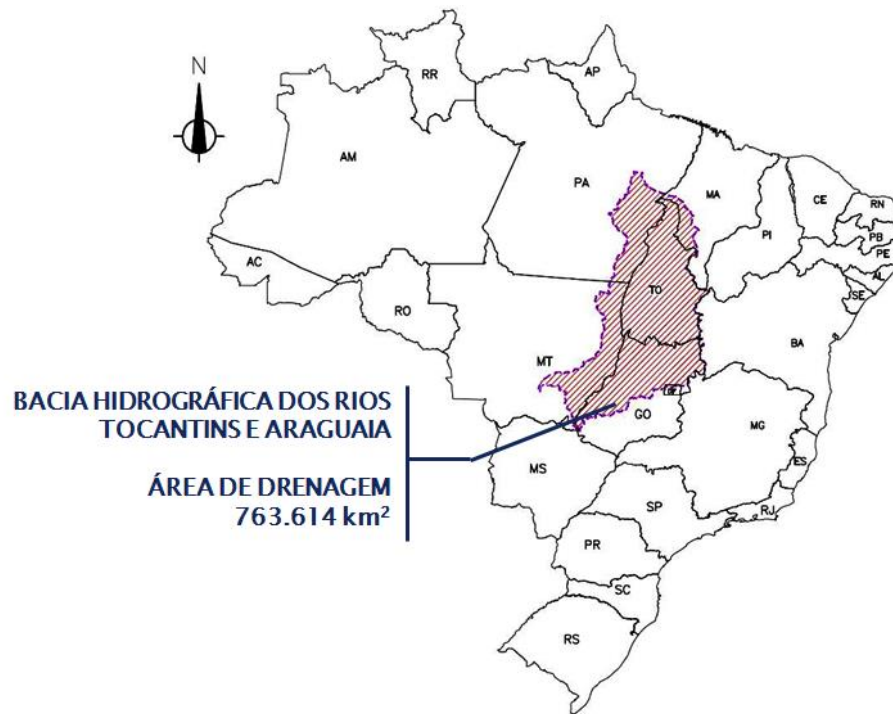


Figura 2. Bacia hidrográfica dos rios Tocantins-Araguaia

# DESCRIÇÃO DA ÁREA EM ESTUDO

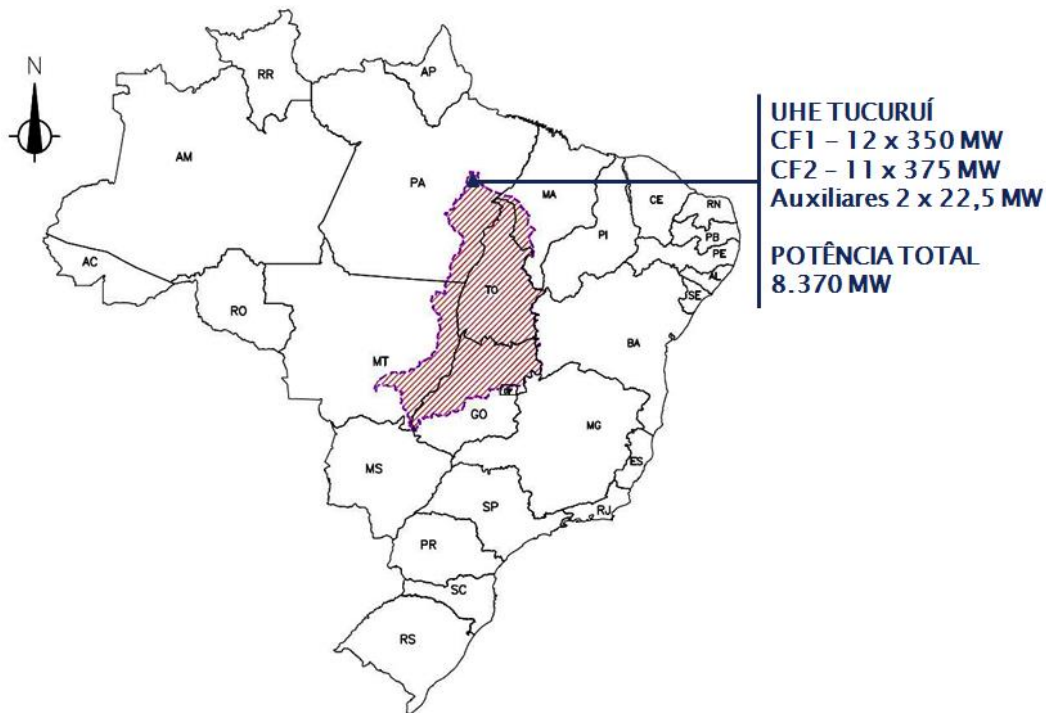


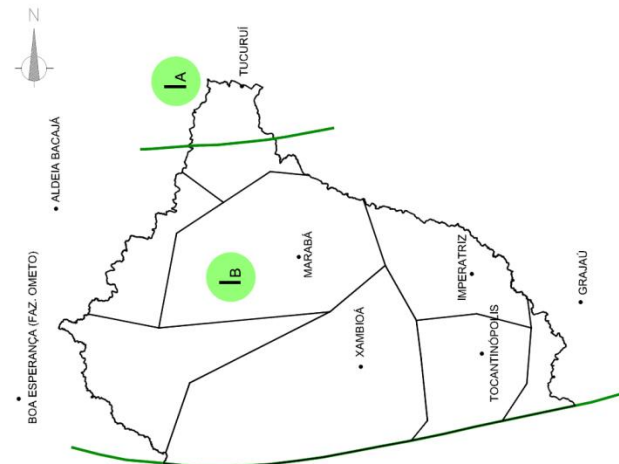
Figura 3. Localização da UHE Tucuruí

# DADOS DE ENTRADA

<i>Código</i>	<i>Nome</i>	<i>Rio</i>	<i>Área de Drenagem (km<sup>2</sup>)</i>
1	UHE Tucuruí	Tocantins	757.577
2	Itupiranga	Tocantins	727.900
3	Marabá	Tocantins	695.198
4	Descarreto	Tocantins	296.638
5	Tocantinópolis	Tocantins	288.609
6	Fazenda Alegria	Itacaiúnas	194.413
7	Araguatins	Araguaia	381.802
8	Xambioá	Araguaia	370.452
9	Conceição do Araguaia	Araguaia	352.434

Tabela 1. Postos Fluviométricos Considerados

- Análise de Consistência dos Dados:
  - Análise de Correlação
  - Preenchimento de Falhas
  - Extensão das séries



<i>Código</i>	<i>Nome</i>	<i>Entidade Responsável</i>
10	Tucuruí	INMET <sup>1</sup>
11	Marabá	INMET
12	Imperatriz	INMET
13	Xambioá	ANA
14	Tocantinópolis	ANA

Tabela 2. Postos Pluviométricos Considerados

# METODOLOGIA

## ➤ Redes NSRBN:

- Redes neurais compostas por blocos de polinômios de regressões sigmóides não-lineares.
- Possuem capacidade de mapeamento no sentido de qualquer função contínua definida em um conjunto compacto em redes neurais pode ser uniformemente aproximada (Valença, 1999).
- Estrutura compacta (1 camada escondida) e Algoritmo construtivo.

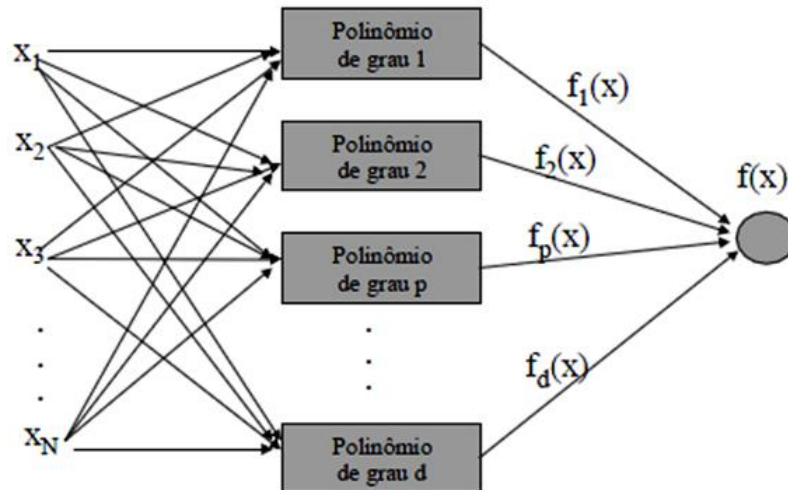


Figura 4. Arquitetura Combinatorial – Rede NSRBN



# METODOLOGIA

- Etapas analisadas durante o processo de modelagem de uma RNA:
  - Divisão dos Dados: Treinamento (50%) / Validação Cruzada (25%) / Verificação (25%) .
  - Normalização dos Dados: transformação logarítmica.
  - Treinamento da Rede Neural: minimizar a função objetivo: Valor mínimo do Erro Médio Quadrático (EMQ) da Validação Cruzada.
  - Algoritmo backpropagation: pesos ajustados à primeira derivada.
  - Verificação do Desempenho.
    - Erro Percentual Médio Absoluto (EPMA) e Erro Padrão de Predição (EP).

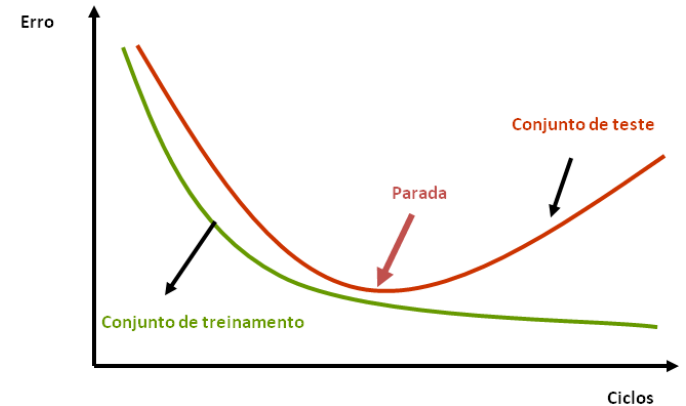


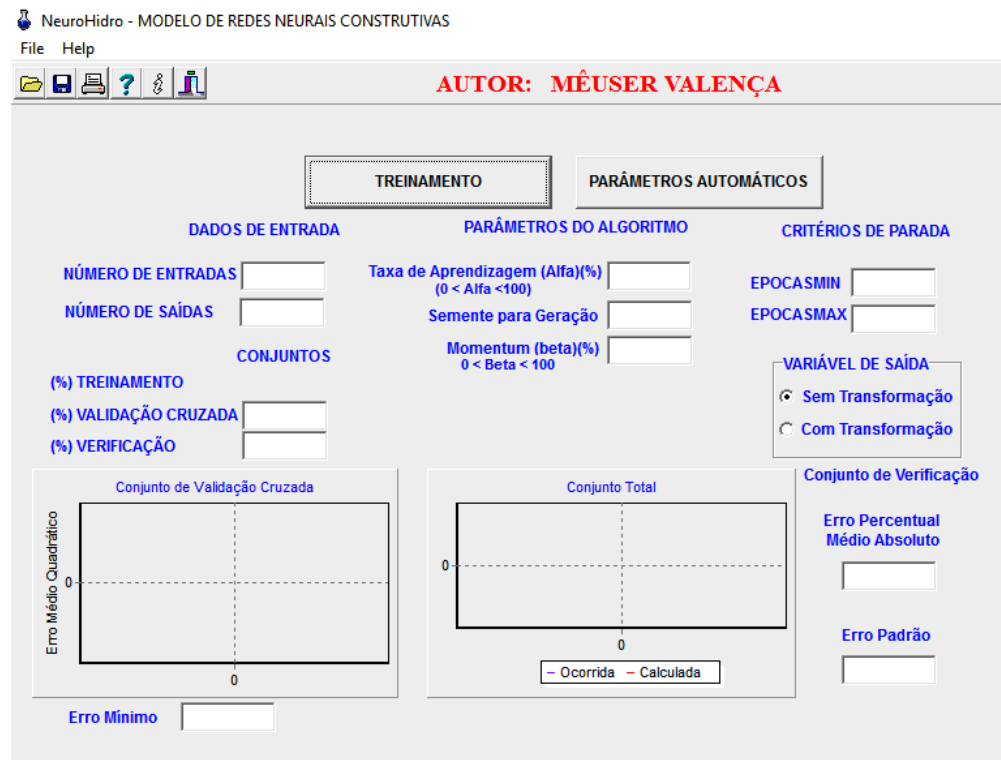
Figura 5. Critério de Parada do Treinamento

# METODOLOGIA

- Modelo NEUROHIDRO.
- Calibração de uma rede para o período úmido e outra para o período seco.

Sim.	Nº Entr.	Variáveis de Entrada
A	44	TucF; ItuF; MarF; DesF; TocF; FazAleF; AraF; XamF;
B	49	TucF; ItuF; MarF; DesF; TocF; FazAleF; AraF; XamF; TucP; MarP; XamP; ImpP; TocP

Tabela 3. Variáveis de Entrada da Rede Neural



NeuroHidro - MODELO DE REDES NEURAIS CONSTRUTIVAS  
File Help

**AUTOR: MÊUSER VALENÇA**

**TREINAMENTO**      **PARÂMETROS AUTOMÁTICOS**

**DADOS DE ENTRADA**      **PARÂMETROS DO ALGORITMO**      **CRITÉRIOS DE PARADA**

NÚMERO DE ENTRADAS       Taxa de Aprendizagem (Alfa)(%) (0 < Alfa < 100)

NÚMERO DE SAÍDAS       Semente para Geração

**CONJUNTOS**      Momentum (beta)(%) (0 < Beta < 100)

(%) TREINAMENTO       EPOCASMÍN

(%) VALIDAÇÃO CRUZADA       EPOCASMÁX

(%) VERIFICAÇÃO

**VARIÁVEL DE SAÍDA**

Sem Transformação

Com Transformação

**Conjunto de Verificação**

Erro Percentual Médio Absoluto

Erro Padrão

Conjunto de Validação Cruzada

Conjunto Total

Erro Médio Quadrático

0

0

— Ocorrida — Calculada

Erro Mínimo

Figura 6. Calibração do Modelo

# PRINCIPAIS RESULTADOS

PARÂMETROS				NeuroHidroELN_ALTAS		
Sim.	Entradas			Conjunto Verificação		Val.Cruzada
	Tipo	Alfa	Beta	EPMA (%)	EP (m <sup>3</sup> /s)	Erro mín(%)
A	A1	30	65	10,4	1.694,5	<b>5,0</b>
B	B2	30	60	11,7	1.904,9	<b>5,1</b>

Tabela 4. Resultado para Vazões Altas

PARÂMETROS				NeuroHidroELN_BAIXAS		
Sim	Entradas			Conj.Verif	Validação Cruzada	
	Tipo	Alfa	Beta	EP (%)	EP (%)	Erro mín (%)
A	A5	40	40	4,0	2,2	<b>2,7</b>
B	B1	20	20	7,3	13,3	<b>3,3</b>

Tabela 5. Resultado para Vazões Baixas

PARÂMETROS				NeuroHidroTimingConection		
Sim	Entradas			Val. Cruzada	Conj. Verificação	
	Tipo	Alfa	Beta	Erro mín (m <sup>3</sup> /s)	EPMA (%)	EP (m3/s)
A	1	60	60	<b>206,3</b>	8,9	1752,3
B	2	65	65	<b>56,9</b>	15,5	1985,0

Tabela 6. Resultado Timing Conection

# PRINCIPAIS RESULTADOS

<i>Dias à Frente</i>	<i>Sim A</i>	<i>Sim B</i>
1	4,72	10,60
2	5,29	10,74
3	6,10	17,03
4	7,02	17,42
5	9,74	17,49
6	10,34	18,10
7	11,01	18,86
8	11,62	18,72
9	12,45	19,42
10	13,35	20,16
11	14,27	20,96
12	17,42	21,68

Tabela 7. Resultado das Previsões 12 dias à frente

<i>ANO</i>	<i>ONS</i>	<i>SIM. A</i>	<i>SIM. B</i>
2000	13,4	3,52	7,61
2001	12,8	4,82	13,73
2002	14,8	6,95	14,99
2003	13,0	8,21	18,30
2004	11,6	6,05	10,32
2005	-	6,31	16,60
2006	-	6,51	15,25
2007	13,9	7,00	22,17
2008	12,5	7,84	20,45
2009	9,0	6,71	8,40

Tabela 8. Resultado da Previsão – MAPE (%) Anual



# PRINCIPAIS RESULTADOS

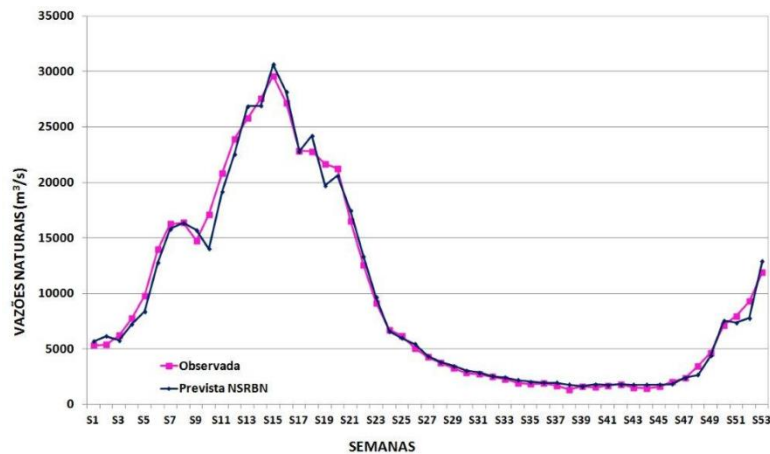


Figura 7. Previsão de Vazões Semanais – 2008 – Simulação A

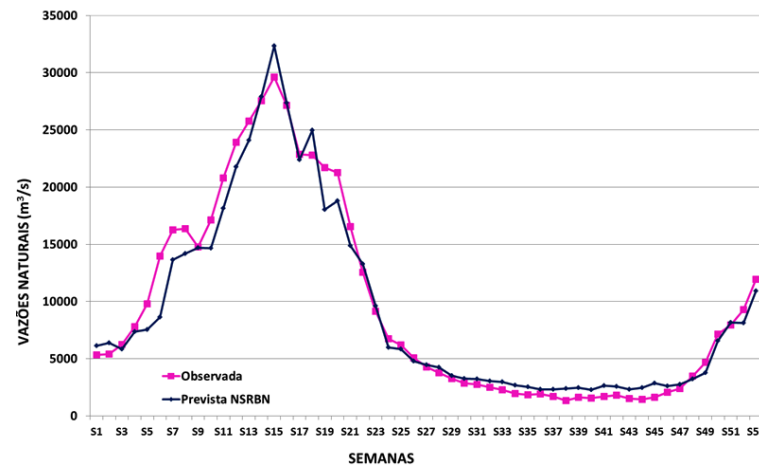


Figura 8. Previsão de Vazões Semanais – 2008 – Simulação B

# PRINCIPAIS RESULTADOS

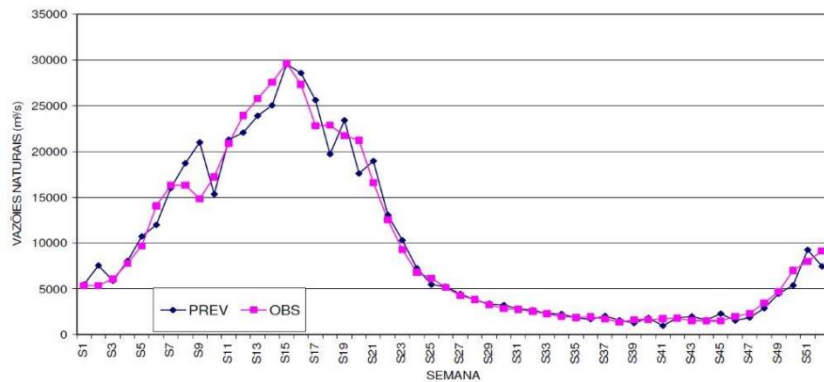


Figura 9. Previsão de Vazões Semanais – 2008 – ONS - Previzaz

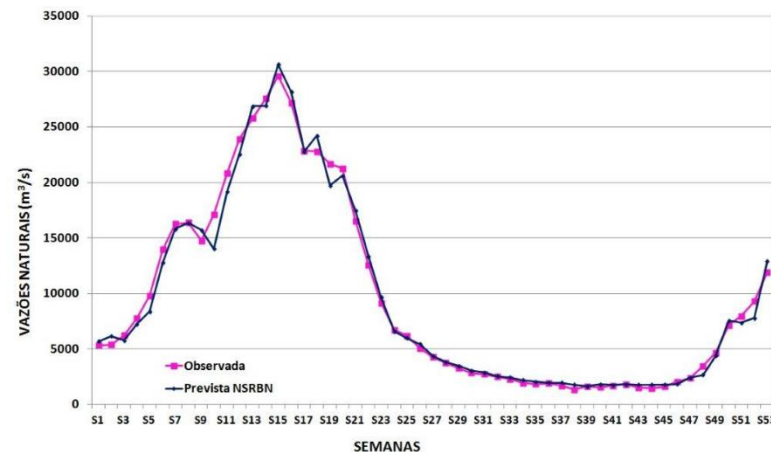


Figura 10. Previsão de Vazões Semanais – 2008 – Simulação A - NeuroHidro

# PRINCIPAIS CONCLUSÕES

- Para o presente estudo, face à necessidade de dados de grande abrangência temporal, pode-se afirmar que o suporte fornecido pela rede foi satisfatório;
- Tanto para as VAZÕES ALTAS quanto para as VAZÕES BAIXAS, verifica-se que a rede que apresenta o menor erro para o conjunto de validação cruzada é a rede formada pelos postos fluviométricos (Simulação A);
- Para a Simulação A, os valores do MAPE foram, em média, 48% inferiores aos divulgados pelo ONS, mostrando assim a vantagem da metodologia de RNA do tipo NSRBN;
- Em contrapartida, os resultados encontrados com a Simulação B não foram melhores que os obtidos pelo ONS em suas previsões. Em geral, obteve-se valores bem superiores para a métrica MAPE, destaque para o ano de 2007, cujo aumento foi da ordem de 60%.

# PRINCIPAIS CONCLUSÕES

- As previsões realizadas por meio da rede neural (Simulação A) apresentaram um menor erro de defasagem temporal, quando se comparada com as previsões realizadas pelo PREVIVAZ;
- Os dados de precipitação prejudicaram os valores das previsões de vazões, em parte pela característica da variável, que não permitiu o aprendizado e generalização da rede neural;
- Recomenda-se executar o módulo de previsão para cada semana operativa do ONS, com base nos anos utilizados para Verificação;
- Estudar o comportamento das chuvas na região, o que poderia explicar os valores baixos de previsão quando as mesmas são consideradas como entrada da Rede Neural.



# Agradecimentos

- Professor Orientador: Dr. Carlos Henrique Ribeiro Lima
- Colega de Doutorado Saulo Aires;
- Colega de Eletrobras Mêuser Valença;
- Eletrobras Eletronorte;
- Universidade de Brasília.

## **Carlos Da Costa Ferreira**

Doutorando em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos - UnB  
Engenheiro de Planejamento Energético – Eletrobras Eletronorte  
(61) 34295448

[carlos.ferreira@eletronorte.gov.br](mailto:carlos.ferreira@eletronorte.gov.br)

[carloscferreira@yahoo.com.br](mailto:carloscferreira@yahoo.com.br)