



SOBRE ÁGUA NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

APLICAÇÃO DA TEORIA DOS CONJUNTOS DIFUSOS PARA PREVISÃO DE CHUVAS NA REGIÃO SEMIÁRIDA DO NORDESTE BRASILEIRO

Emerson Mariano da Silva¹ e José Maria Brabo Alves²

^{1,2}Universidade Estadual do Ceará (UECE) – emerson.mariano@uece.br

Introdução

O uso competitivo da água na Região Semiárida do Nordeste do Brasil (RSANEB) tem imposto à comunidade científica o aprimoramento e o desenvolvimento de novas metodologias e de técnicas que contribuam para o aumento e para a precisão das informações das previsões climáticas que são fornecidas a comunidade, que dão suporte ao processo de previsão e gerenciamento dos recursos hídricos regionais, contribuindo para a melhoria do complexo modelo de gestão das águas na região.

A aplicação dos *fuzzy sets* (ZADEH, 1978) em estudos meteorológicos vem crescendo por todo o mundo, no mapeamento das condições de tempo (SHAO, 2000), para a obtenção das características térmicas da atmosfera (GAUTAN *et al.*, 2002), para a estimativa de radiação solar (HICKS *et al.*, 2003) e a para previsão de chuvas (MACKEY, 2004).

Neste contexto, visando o melhoramento das informações de previsão climática sobre a RSANEB, o principal objetivo desse trabalho é apresentar e avaliar os resultados da aplicação de um método de previsão climática baseado na teoria dos conjuntos difusos (*fuzzy sets*) e na experiência dos profissionais da área de Meteorologia para a obtenção do total médio da precipitação pluviométrica sobre regiões contidas na RSANEB no período da quadra chuvosa da região (ALVES e REPELLI, 1992).

Metodologia

A Figura 1a mostra um diagrama representativo da estrutura básica de um modelo baseado nesta teoria. No módulo de entrada define-se além do processo de representação das entradas





SOBRE ÁGUA NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

numéricas de dados através dos conjuntos difusos, as funções de pertinência a serem usadas nesta representação. Na base de conhecimentos tem-se a construção do modelo difuso, com a seleção das regras de decisão e de inferência, que se baseiam no conhecimento prévio e experiência na área de estudo. A função do motor de inferência é determinar o valor da variável do conjunto difuso de saída, com base nos parâmetros estabelecidos nos módulos de entrada e o módulo de *desfuzificação* tem como principal objetivo a obtenção de um valor real para a saída, nesse módulo tem-se a aplicação de um ou mais métodos de transformação dos conjuntos difusos em valores reais.

Neste estudo, as variáveis difusas de entrada se referem às características de variáveis atmosféricas e oceânicas, observadas em janeiro do ano de previsão em questão, avaliadas sobre e nos oceanos Atlântico (ATN) e Pacífico (PAC) Tropicais (Figura 1b) e que tem significativa relação com as chuvas da RSANEB (HASTENRATH e HELLER, 1977): Anomalia de Temperatura da Superfície do Mar (TSM), anomalia de Pressão ao Nível Médio do Mar (PNM), Índice de Oscilação do Sul (IOS), anomalia de Radiação de Onda Longa (ROL) e previsão de eventos El Niño - Oscilação do Sul (ENOS).

As informações das condições das variáveis sobre e nos Oceanos Tropicais observadas em janeiro de cada ano analisado serviram de base para a definição das funções de pertinência das variáveis difusas de entrada mostradas na Figura 2. Estas são definidas pelo somatório dos eventos Desfavoráveis (D), Neutros (N) e Favoráveis (F). Tais associações são atribuídas pelo conhecimento de especialistas sobre as configurações de tais variáveis com variabilidade climática das chuvas na RSANEB.

A inferência final do prognóstico em cada ano, resulta na previsão do Índice Regional de Chuvas para a Quadra Chuvosa (IRCQC) sobre a porção norte da RSANEB, que teve como base o cálculo dos valores da função de pertinência (μ) associado ao somatório dos valores de cada variável difusa de entrada, segundo critério “*min-max*” estabelecido por Zadeh (1978).

Na desfuzificação da variável difusa IRCQC previsto, foram usados os métodos do centro de gravidade ou centroide, dos pesos médios e o método das máximas alturas médias.



Figura 1 – Diagrama representativo de um modelo baseado na teoria dos conjuntos

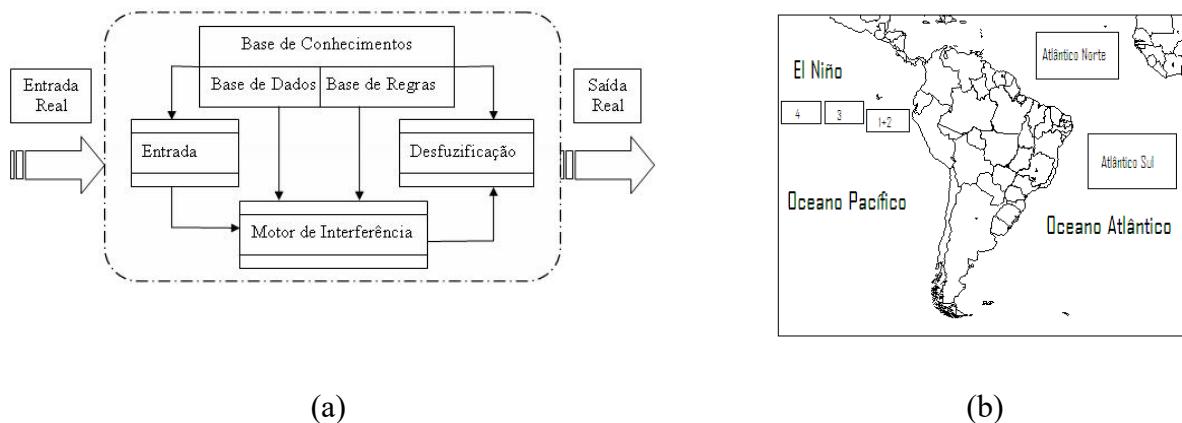
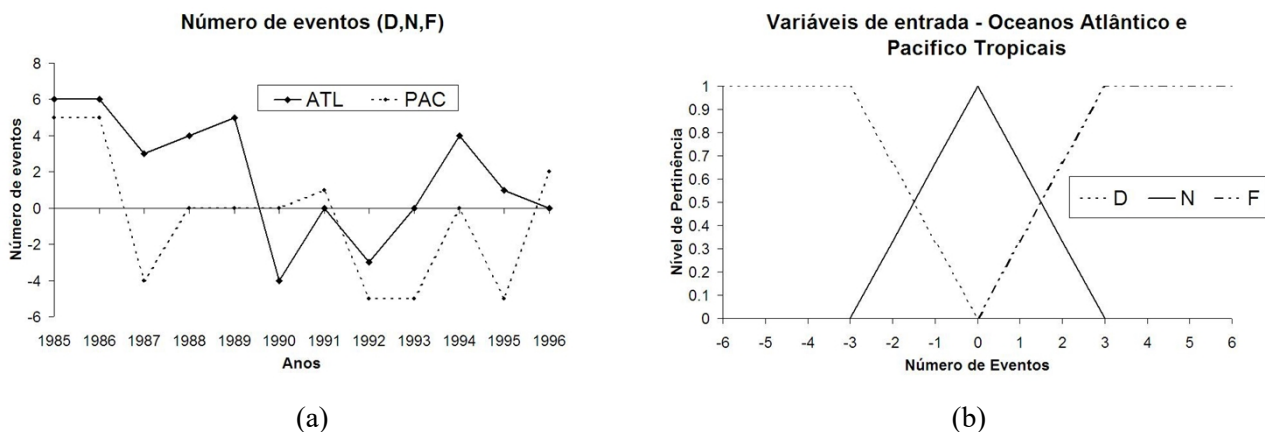


Figura 2 – Diagrama representativo de um modelo baseado na teoria dos conjuntos



Resultados

O IRCQC observado na RSANEB foi calculado como o valor médio na área compreendida entre 2°S e 12°S – 45°W e 7°W, no período de fevereiro a maio de cada ano (1985 a 1996), usando-se os totais pluviométricos de 66 postos, disponíveis no banco de dados da Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE) e da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME).





SOBRE ÁGUA NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

O IRCQC observado serviu de base para a definição da função de pertinência triangular da variável de saída (IRCQC previsto), citada acima. A variável difusa de saída do sistema será o IRCQC previsto na RSANEB, que será expresso em categoria definida como Muito Seco (MS), Seco (S), Normal(N), Chuvoso (C) e Muito Chuvoso (MC), associado às funções de pertinência da mesma dada pelos resultados para cada ano (1985 a 1996).

A Tabela 1 apresenta uma comparação entre os valores do IRCQC observado e os valores determinísticos encontrados a partir da otimização usando conjuntos difusos da previsão desse índice por categorias, e também uma comparação por categoria, para os 12 anos do estudo. Nota-se que, a previsão usando esta técnica, tanto por categorias como pela obtenção dos valores determinísticos é consistente com o observado. Em geral, a previsão usando conjuntos difusos, conseguiu capturar uma das categorias na qual o IRCQC observado se inseriu.

Em adição, calculando-se a correlação entre os valores do IRCQC observados e os valores determinísticos previstos, pelos três métodos utilizados, encontra-se que a correlação entre os valores observados e os valores obtidos pelo método do centro de gravidade (Método 1) é de 0,85, entre os valores observados e os encontrados pelo método dos pesos médios (Método 2) é de 0,81, e entre os valores e os obtidos pelo método das alturas (Método 3) é de 0,80.

Tabela 1 - IRCQC observado (mm), categorizado, previsto por categorias e a previsão de valores determinísticos (valores desfuzificados - mm), pelos três métodos de desfuzificação.

IRCQC Observado			IRCQC Previsto			
		Categoria	Categoria	Método 1	Método 2	Método 3
	(mm)			(mm)	(mm)	(mm)
1985	965	MC	MC	864	825	900
1986	708	C-MC	MC	864	825	900
1987	415	S-N	N	500	500	500
1988	598	N-C	C	650	650	650
1989	622	N-C	C	650	650	650
1990	361	S-N	S	350	350	350





SOBRE ÁGUA NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

1991	429	S-N	N-C	550	550	500
1992	352	S-N	MS	140	175	100
1993	237	MS-S	S	350	350	350
1994	494	N-C	C	650	650	650
1995	591	N-C	S-N	529	400	350
1996	568	N-C	N-C	550	550	500

Conclusões

Os resultados mostraram que a técnica dos conjuntos difusos usada como ferramenta de otimização da previsão na RSANEB obteve desempenho satisfatório, previu pelo menos uma das categorias da variável de saída (IRCQC) na qual se inseriu o total de chuvas observado nessa região no ano da previsão. Quantitativamente, os resultados foram mais próximos do observado para os anos classificados nas categorias de normal a muito chuvoso, apresentando maiores diferenças para os anos secos e muito secos.

Adicionalmente, menciona-se que na comparação para os 12 anos de estudo entre o IRCQC observado e o previsto na RSANEB, embora a amostra estatística seja pequena para conclusões categóricas, mostrou correlações que variam de 0,8 a 0,85 dependendo do método de desfuzificação usado. Sendo que o método que apresentou maior correlação entre valores previstos e os observado foi o método do centro de gravidade, concordando com o sugerido por Lee (1990a).

Esses valores de correlação, ressaltando-se que a otimização é feita com a análise de variáveis de janeiro, se constituindo em um prognóstico, são da mesma ordem dos encontrados pelos métodos estatísticos-estocásticos e dinâmicos, para o IRCQC médio da estação chuvosa na RSANEB (SUN *et al.*, 2005).

Assim, conclui-se que, usando-se esses preditores atmosféricos e oceânicos de grande escala e aplicando-se o resultado das regras de inferência obtidos para a região, juntamente com o método de desfuzificação do centro de gravidade, que obteve melhor desempenho nessa tarefa, pode-se usar o método de previsão proposto em rotinas de previsão do IRCQC sobre a RSANEB.





SOBRE ÁGUA NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

Referências Bibliográficas

ALVES, J. M. B.; REPELLI, C. A. A variabilidade pluviométrica no setor norte do nordeste e os eventos El Niño/Oscilação Sul (ENOS). *Revista Brasileira de Meteorologia*, São José dos Campos, SP, v.07, n.2, p.583-592, 1992.

GAUTAM, N. K., Kaushika, N. D. A Model for the Estimation of Global Solar Radiation Using Fuzzy Random Variables. *J. Appl. Meteor.*, vol. 41, n.12, p. 1267-1276, 2002.

HASTENRATH, S; HELLER, L. Dynamics of climatic hazards in northeast Brazil. *Q. J. Roy Meteor. Soc.*, 103, 77-92. 1977.

HICKS, T. An Improved Fuzzy Logic System For Automated Short Term Aviation Weather Forecasts. In: AMS Conference on Aviation, Range, and Aerospace, 11., Hyannis, MA, p.4/8, October. 2004.

LEE, C. C. Fuzzy logic in control systems: fuzzy logic controller - part I. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*. v. 20, n. 2, p. 404-418. 1990a.

MACKEY, B. P. A non-linear fuzzy set technique for combining precipitation forecasts. Conference on Weather Analysis and Forecasting, 20. Conference on Numerical Weather Prediction, 16. American Meteorological Society, 11-15 January, Seattle, Washington. 2004.

SUN, L.; MONCUNNIL, D. F.; LI, H.; MOURA, A. D.; FILHO, F. D. D. S. Climate downscaling over Nordeste Brazil using NCEP RSM97. *J. Climate*, v.18, p.551-567. 2005.

SHAO, J. Fuzzy Categorization of Weather Conditions for Thermal Mapping. *J. Appl. Meteor.*, v. 39, n.10, p. 1784-1790. 2000.

ZADEH, L. Fuzzy sets as basis for theory of possibility. *Fuzzy Sets and systems*, v.1, p.3-28, 1978.

