

**Qualidades de Sistemas
Probabilísticos de Previsão
Climática Sazonal Baseados
na Abordagem de Anos
Análogos**

Documentos 63

Qualidades de Sistemas Probabilísticos de Previsão Climática Sazonal Baseados na Abordagem de Anos Análogos

Aline de Holanda Nunes Maia

Exemplares dessa publicação podem ser solicitados à:

Embrapa Meio Ambiente
Rodovia SP 340 - km 127,5 - Tanquinho Velho
Caixa Postal 69 13820-000, Jaguariúna, SP
Fone: (19) 3867-8750 Fax: (19) 3867-8740
sac@cnpmma.embrapa.br
www.cnpmma.embrapa.br

Comitê de Publicação da Unidade

Presidente: *Alfredo José Barreto Luiz*

Secretária-Executiva: *Heloisa Ferreira Filizola*

Secretário: *Sandro Freitas Nunes*

Bibliotecária: *Maria Amélia de Toledo Leme*

Membros: *Ladislau Araújo Skorupa, Ariovaldo Luchiani Júnior, Luiz Antônio S. Melo, Adriana M. M. Pires, Emília Hamada e Cláudio M. Jonsson*

Normalização Bibliográfica: *Maria Amélia de Toledo Leme*

Editoração Eletrônica: *Alexandre Rita da Conceição*

1ª edição eletrônica

(2007)

Todos os direitos reservados.

A reprodução não-autorizada desta publicação, no seu todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Maia, Aline de Holanda Nunes.

Qualidades de sistemas probabilísticos de previsão climática sazonal baseados na abordagem de anos análogos. – Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2007.

18p. : il. — (Embrapa Meio Ambiente. Documentos, ; 63)

1. Climatologia. 2. Estatística não-paramétrica. I. Maia, Aline de Holanda Nunes. II. Título. III. Série.

CDD 551.633

© Embrapa 2007

Autores

Aline de Holanda Nunes Maia

Engenheira Agrônoma, Doutora em Agronomia,
Pesquisador da Embrapa Meio Ambiente, Rodovia SP
340 - Km 127,5 - 13.820-000, Jaguariúna, SP.
E-mail: ahmaia@cnpmma.embrapa.br

Sumário

Introdução	06
2. Sistema probabilístico de previsão climática sazonal baseado no IOS	08
3. Representação das séries históricas por suas respectivas distribuições empíricas	09
4. Testes estatísticos para quantificação de habilidade discriminatória	11
5. Variabilidade temporal da habilidade discriminatória de um SPCS considerando diferentes defasagens temporais ..	12
6. Variabilidade espacial da HD do sistema IOS-5 para previsão de chuva nos trimestres JJA e JAS na Austrália ..	13
7. Conclusões	15
Referências	16

Qualidades de Sistemas Probabilísticos de Previsão Climática Sazonal Baseados na Abordagem de Anos Análogos

Aline de Holanda Nunes Maia

Introdução

Sistemas probabilísticos para previsão climática sazonal (SPCS), acoplados a modelos de simulação de sistemas agrícolas, são utilizados para planejamento e tomada de decisão em ambientes onde variáveis climáticas são fatores chave na investigação dos riscos associados ao negócio agrícola. Uma forma simples e intuitiva de conectar SPCS e modelos de simulação é a abordagem de anos análogos, onde as séries históricas das variáveis climáticas (ex. chuva e temperatura, utilizadas como variáveis prognósticas nos modelos de simulação) são segregadas em sub-séries ou classes derivadas de indicadores climáticos relativos a condições atmosféricas e oceânicas, combinadas ou não, tais como o Índice de Oscilação Sul¹ (IOS) e Temperaturas da Superfície do Mar (TSM) (STONE et al., 1996; MESSINA et al., 1999; MEINKE & STONE, 2005).

SPCS baseados na abordagem de anos análogos têm sido utilizados há várias décadas em países como Austrália e Índia, fornecendo informações valiosas para o planejamento de atividades agrícolas (HAMMER et al., 2000; SELVARAJU, 2004). Nesses países, utilizam-se SPCS baseados em fases do Índice de Oscilação Sul (IOS), nos quais as séries históricas são segregadas

¹ Indicador atmosférico que mede a diferença normalizada entre a pressão atmosférica à superfície, medida no Taiti (Polinésia Francesa, Pacífico Ocidental) e Darwin (Austrália, Pacífico Oriental).

em cinco classes e as previsões probabilísticas são feitas considerando a informação prévia sobre a classe a qual pertence o período de previsão de interesse. Uma investigação preliminar sobre a magnitude da influência das fases do IOS sobre o desempenho da cultura de interesse é feita analisando-se as séries históricas de totais de chuva (mm) durante o ciclo da cultura, correspondentes a cada classe.

Uma forma simples e conveniente de representar a série histórica da variável climática de interesse e as sub-séries correspondentes a cada classe é por meio de suas respectivas funções distribuição de probabilidade acumulada (FDPA) empíricas. Tal representação é adequada para séries que exibem autocorrelação serial de fraca a nula, como é o caso das séries anuais de totais de chuva de um período específico (ex. mês, trimestre). As FDPA correspondentes a cada classe são ditas distribuições condicionais, enquanto a FDPA para a série completa é dita não condicional.

A avaliação da qualidade dos SPCS baseados na abordagem de anos análogos envolve pelo menos dois conceitos distintos (STONE et al., 2000): a) quantificação da fração da variabilidade total da variável climática de interesse explicada pelo fator de classificação, dita habilidade discriminatória (HD, “discriminatory ability”) e b) variação no grau de concordância entre valores observados e preditos pelo SPCS devido à incorporação do fator de classificação, denominada habilidade preditiva (HP, “skill”).

Nos SPCS baseados em anos análogos, a habilidade discriminatória está intrinsecamente associada à habilidade preditiva. Quanto maior a divergência entre as FDPA correspondentes a cada classe, maior o ganho em acurácia do sistema devido à incorporação das classes. Neste trabalho, abordamos apenas a quantificação da habilidade discriminatória de SPCS, que pode ser utilizada como medida indireta da habilidade preditiva.

Apresentamos e discutimos o uso de níveis de significância nominais (valores p) associados a testes estatísticos não paramétricos para quantificação da habilidade discriminatória, conforme proposto em Maia et al. (2004) e Maia et al. (2006). Essa abordagem permite: a) a investigação sobre a variabilidade espacial da HD de um particular sistema de previsão, numa região onde as séries históricas de diferentes locais não têm o mesmo tamanho; (ii) a quantificação da variação temporal da habilidade discriminatória de um SPCS num local específico e (iii) a comparação de diferentes SPCS quanto à habilidade discriminatória.

Ilustramos a abordagem proposta em estudos de caso onde foi quantificada a habilidade discriminatória de um SPCS, baseado no Índice de Oscilação Sul para previsão sazonal de chuvas na Austrália. Utilizamos dados desse país devido à disponibilidade de um grande número de estações para análise espaço-temporal e pelo fato de o SPCS IOS-5 ser utilizado com sucesso há décadas para análise de riscos climáticos e auxílio à tomada de decisão nas atividades agropecuárias (HAMMER et al., 2000).

No entanto, a abordagem apresentada neste trabalho pode também ser empregada para avaliação da HD de SPCS com promissora habilidade preditiva para o Brasil, como aqueles baseados no fenômeno El Niño Oscilação Sul (ENOS), cuja influência é mais pronunciada nas regiões Sul e Nordeste. Novos sistemas recentemente propostos que utilizam, de forma conjunta, informações do ENOS e de temperaturas do Oceano Atlântico podem vir a contribuir para a melhoria de SPCS em muitas regiões da América do Sul (ANDREOLI et al., 2004; SOUZA et al., 2004; MARQUES & BERLATO, 2005).

Como a HD desses sistemas varia no tempo e no espaço, é importante identificar em que locais e épocas do ano o sistema de classes de anos análogos proposto contribui de forma expressiva para explicar a variabilidade da variável climática de interesse. A HD indica se o sistema de classificação deve ou não ser considerado quando as séries históricas das variáveis climáticas são utilizadas nos modelos de simulação de sistemas agrícolas. Nesse contexto, o objetivo deste trabalho é propor métodos práticos e objetivos para avaliação da qualidade de sistemas de previsão climática sazonal, baseados na abordagem de anos análogos.

2. Sistema Probabilístico de Previsão Climática Sazonal Baseado no IOS

No sistema probabilístico de cinco fases, baseado em padrões do IOS (SPCS IOS-5, STONE, 1996) as séries anuais das variáveis climáticas são categorizadas em cinco sub-séries de anos análogos com respeito a suas similaridades em relação a padrões de variação do IOS em períodos anteriores ao período para o qual se deseja obter a previsão (período-alvo). Esses padrões são classificados como “positivo”, “negativo”, “crescente”, “decrecente” ou “neutro”. O número de meses entre o período de mensuração do

IOS e o período alvo é denominado defasagem temporal (“lag”) do sistema. A alocação das observações nas classes varia com a defasagem temporal. Nos exemplos apresentados neste trabalho, as séries anuais de totais trimestrais de chuva, em cada localidade, foram segregadas em 2.950 sub-séries, com número variável de anos, de acordo com padrões do IOS, considerando defasagem temporal zero.

3. Representação das Séries Históricas por suas Respectivas Distribuições Empíricas

Na abordagem de anos análogos as observações da variável Y em cada sub-série são representados por suas respectivas funções “distribuição de probabilidade acumulada” empíricas condicionais ($\hat{F}_{Y|K}(y)$), ou por suas funções complementares, ditas funções “probabilidade de exceder” ($\hat{G}_{Y|K}(y)$). A distribuição empírica correspondente à série completa (todas as classes) é dita distribuição não condicional e denotada por $\hat{F}_Y(y)$. As funções “probabilidade de exceder” empíricas são utilizadas para estimar a probabilidade condicional de a variável Y exceder um valor y , ($y > 0$), dado que Y pertence à classe $K=j$ ($j = 1, 2, \dots, k$). No SPCS IOS-5, essa classificação é feita com base nos padrões observados do IOS num período de referência anterior ao período alvo da previsão.

As funções “probabilidade de exceder”, em cada classe K , para um dado local, são dadas por:

$$\hat{G}_{Y|K}(y) = 1 - \hat{F}_{Y|K}(y) = 1 - P(Y \leq y | K = j)$$

onde $\hat{G}_{Y|K}(y)$ é um estimador não paramétrico da probabilidade de o total trimestral de chuvas do local (Y) exceder uma particular valor y , dado que Y pertence à classe $K=j$ e $\hat{F}_{Y|K}(y)$ é a função distribuição de probabilidade acumulada empírica de Y , dado K .

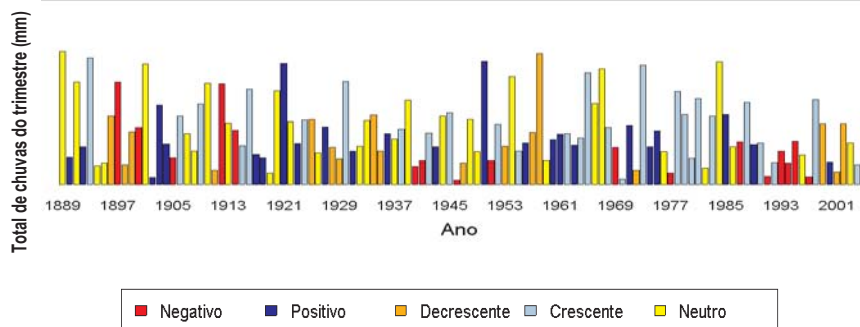


Fig. 1. Série histórica dos totais de chuva (Y) do trimestre Junho-Agosto (JJA) no período de 1889 a 2001, em Dalby, Austrália. Cada observação foi classificada de acordo com os padrões do IOS considerando defasagem temporal ("lag") zero.

Uma representação gráfica da série histórica dos totais de chuvas (Y, mm) do trimestre Junho-Agosto (JJA) em Dalby (Austrália), segregada em cinco classes derivadas de padrões de variação do IOS, é apresentada na Fig. 1. As respectivas funções "probabilidade de exceder" ($G_{Y|K}(y)$), são apresentadas na Fig. 2.

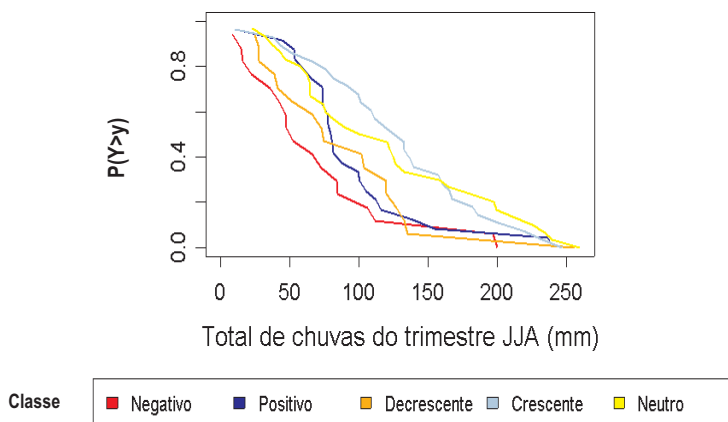


Fig. 2. Estimativas não-paramétricas das funções "probabilidade de exceder" ($P(Y > y)$), para cada classe K do sistema de previsão climática sazonal, baseado no IOS-5, considerando defasagem temporal ("lag") zero.

4. Testes Estatísticos para Quantificação de Habilidade Discriminatória

Diversos testes paramétricos e não paramétricos podem ser utilizados para quantificar HD de SPCS, HD que é expressa pela divergência entre as FDPA correspondentes a cada classe. Testes paramétricos (ex. F de Snedecor, testes baseados na razão de verossimilhança) requerem pressuposições sobre as distribuições de probabilidade correspondentes a cada sub-série (classe). Para investigar a validade de tais pressuposições, é necessário realizar análises exploratórias para cada conjunto de dados. Em estudos sobre variabilidade espacial da HD de um SPCS, incluindo um grande número de locais, tal investigação é um processo tedioso e demorado.

Os testes não paramétricos (ex. Kolmogorov-Smirnov, Log-Rank, Kruskal-Wallis) têm a vantagem de não requererem pressupostos sobre as distribuições, embora freqüentemente sejam menos poderosos que os seus correspondentes paramétricos. Para quantificar a HD de um SPCS, diversas hipóteses podem ser objeto de investigação, tais como: igualdade entre médias, igualdade entre medianas ou ainda igualdade entre as distribuições correspondentes às diferentes classes do sistema. Nos exemplos apresentados neste trabalho utilizamos o teste Kruskal-Wallis (KW) para a hipótese de igualdade entre medianas (CONOVER, 1980). Para aplicação do teste aos dados de cada local e cálculo dos correspondentes níveis de significância nominais (valores p) foi utilizado o procedimento NPAR1WAY do programa SAS (SAS, 1998).

A divergência entre as funções probabilidade de exceder ($\hat{G}_{y|K}(y)$) para o total de chuvas do trimestre JJA, correspondentes a cada classe K do sistema IOS-5 (Fig. 2), quantificada pelo teste KW mostrou alta HD do sistema IOS-5 (valor $p = 0,0049$) para aquele trimestre, em Dalby, Austrália. Quanto menor o valor p , maior a evidência de contribuição das classes do sistema IOS-5 para explicar a variabilidade entre as medianas dos totais trimestrais de chuva.

5. Variabilidade Temporal da Habilidade Discriminatória de um SPCS Considerando Diferentes Defasagens Temporais

A habilidade discriminatória (HD) do sistema IOS-5 para previsão de totais trimestrais de chuva em Dalby, foi quantificada pelo teste KW, considerando seis diferentes defasagens remporais ("lags"). Foi construído um gráfico de variação da HD ao longo do ano, no qual se apresenta o nível de significância nominal (valor p) do teste em função do trimestre, para cada valor de defasagem temporal.

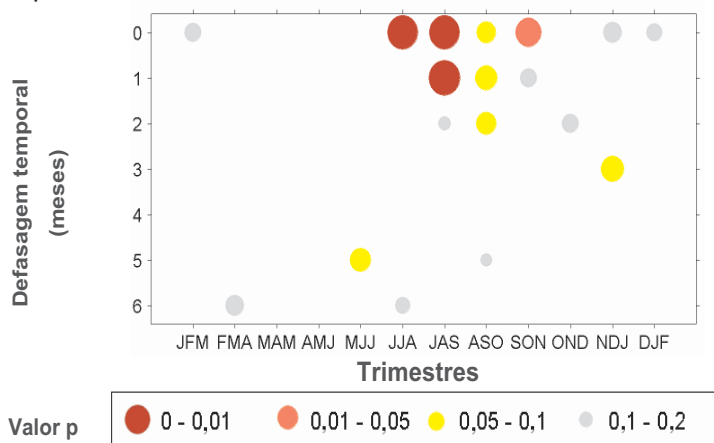


Fig. 3. Variação temporal da habilidade discriminatória (HD) do SPCS IOS-5 com diferentes valores de defasagem temporal ("lags"), para previsão de totais trimestrais de chuva em Dalby, Austrália. Em cada trimestre, foi quantificado o valor p associado ao teste Kruskal-Wallis para comparação entre medianas das distribuições de Y em cada classe (valores $p > 0,20$ não foram apresentados no gráfico; o tamanho dos pontos é inversamente proporcional ao valor p e diretamente proporcional à HD).

Na Fig. 3 é possível avaliar a variabilidade temporal da HD do sistema ao longo do ano e comparar a HD correspondente a cada valor de defasagem temporal, para um mesmo trimestre. Observa-se que na defasagem zero o sistema tem alta HD para os trimestres Junho–Agosto (JJA) e Julho–Setembro (JAS). Nos trimestres MAM e AMJ a HD é baixa ($p > 0,20$), independente da defasagem considerada. Esse tipo de análise auxilia na escolha da melhor defasagem temporal para cada trimestre e local. Em alguns casos, a falta de evidências sobre contribuição do sistema de classes baseado no IOS indica que as previsões sazonais devem ser feitas utilizando a distribuição não condicional ao invés da distribuição correspondente à classe K.

6. Variabilidade Espacial da HD do Sistema IOS-5 para Previsão de Chuva nos Trimestres JJA e JAS na Austrália.

Neste exemplo, foram utilizados dados de totais trimestrais de chuva de 590 estações meteorológicas na Austrália. Essas estações tinham de 50 a 116 anos de dados diários contínuos de chuva (80% das estações tinham mais de 90 anos de dados diários). As séries anuais de totais trimestrais de chuva, em cada localidade, foram segregadas em 2.950 sub-séries, com número variável de anos, de acordo com padrões do IOS, considerando defasagem temporal zero.

A HD em cada estação meteorológica (local), para o trimestre JJA, foi quantificada pelo nível de significância nominal (valor p) do teste Kruskal-Wallis aplicado para comparação de medianas das distribuições de Y em cada classe do IOS-5.

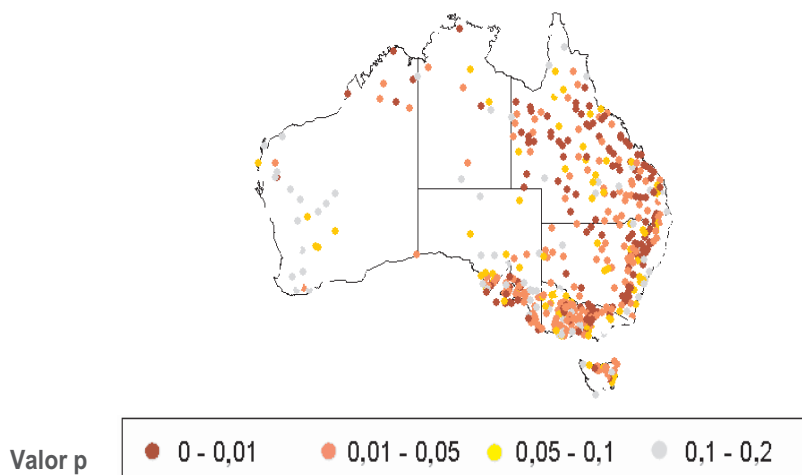


Fig. 4. Variabilidade espacial da habilidade discriminatória (HD) do sistema probabilístico IOS-5 para previsão de chuva (Y, mm) no trimestre JJA na Austrália. HD quantificada em cada local, pelos valores p associados ao teste Kruskal-Wallis para comparação de medianas das distribuições de Y em cada classe.

Na Fig. 4, se observa a utilidade da abordagem proposta para a investigação de padrões espaciais de HD em regiões onde há disponibilidade de séries históricas para uma densa rede de estações meteorológicas. Neste exemplo percebe-se que a HD do sistema IOS-5 é mais pronunciada no Leste do país. Esse padrão espacial é consistente com a maior proximidade do Oceano Pacífico, área de maior influência das variações de pressão mensuradas pelo IOS.

Valores p associados a testes não paramétricos para comparação de distribuições, tais como Kolmogorov-Smirnov ou Log-Rank (KALBSFLEISH & PRENTICE, 1980) também podem ser utilizados para quantificar a HD. Nos exemplos apresentados neste trabalho, a variável climática analisada foi o total de chuvas num trimestre. No entanto, os mesmos métodos podem ser aplicados quando a variável de interesse for mensurada em escala diária como, por exemplo, número de dias sem chuva durante a floração ou número de dias com temperatura acima de um valor crítico.

A avaliação da HD baseada em valores p deve ser acompanhada por avaliações descritivas como, por exemplo, diferenças entre médias, medianas ou outros percentis (mm) e máxima divergência entre as FDPA. As medidas descritivas fornecem informações práticas para os tomadores de decisões enquanto análises inferenciais (testes de hipóteses) quantificam evidências de que as diferenças observadas estão associadas ao efeito de classes.

7. Conclusões

A abordagem discutida neste trabalho é útil na investigação da qualidade de sistemas de previsão climática sazonal (SPCS) baseados na abordagem de anos análogos. Além disso, permite avaliar a variabilidade da habilidade discriminatória (HD) desses sistemas, no tempo e no espaço, e comparar diferentes sistemas numa região específica. Os métodos inferenciais fundamentados em testes de hipótese quando utilizados em conjunto com medidas descritivas fornecem subsídios para a tomada de decisão em regiões onde a variabilidade climática é um importante fator de risco.

Referências

ANDREOLI, R. V.; KAYANO, M. T.; GUEDES, R. L.; OYAMA, M. D.; ALVES, M. A. S. A influência da temperatura da superfície do mar dos oceanos Pacífico e Atlântico na variabilidade de precipitação de Fortaleza. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.19, n.3, 2004.

CONOVER, W. J. **Practical nonparametric statistics**. New York: J. Wiley, 1980.

HAMMER, G.L.; NICHOLLS, N.; MITCHELL, C. (Ed.). **Applications of seasonal climate forecasting in agriculture and natural ecosystems: The Australian experience**. New York: Kluwer, 2000. 469p.

KALBSFLEISH, J. D.; PRENTICE, R. L. **The statistical analysis of failure time data**. New York: J. Wiley, 1980.

MAIA, A. H. N.; MEINKE, H.; LENNOX, S. Assessment of probabilistic forecast 'skill' using p-values. In: INTERNATIONAL CROP SCIENCE CONFERENCE, 4., Brisbane, Australia, 2004. **Proceedings...** Brisbane, 2004. CD-ROM.

MAIA, A. H. N.; MEINKE, H.; LENNOX, S.; STONE, R. Inferential, non-parametric statistics to assess quality of probabilistic forecast systems. **Monthly Weather Review**, v.135, n.2, p. 351-362, 2006.

MARQUES, J. R.; BERLATO, M. Relação entre a TSM nos oceanos Pacífico e Atlântico e a precipitação pluvial em duas mesoregiões no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.1, p. 54-56, 2005.

MEINKE, H.; STONE, R. C. Seasonal and inter-annual climate forecasting: the new tool for increasing preparedness to climate variability and change in agricultural planning and operations. **Climatic Change**, v.70, p.221-253, 2005.

MESSINA, C. D.; HANSSEN, J. W.; HALL, A. J. Land allocation conditioned on ENSO phases in the Pampas of Argentina. **Agricultural Systems**, v.60, p.197-212, 1999.

SAS INSTITUTE INC. **SAS Stat User´s Guide, version 6. 4.** Cary: SAS Institute, 1998. v.2.

SELVARAJU, R.; MEINKE, H.; HANSEN, J. Climate information contributes to better water management of irrigated cropping systems in Southern India. In: INTERNATIONAL CROP SCIENCE CONFERENCE, 4., Brisbane, Australia, 2004. **Proceedings...** Brisbane, 2004. CD-ROM.

SOUZA, E. B.; KAYANO, M. T.; AMBRIZZI, T. The eastern Amazon/northeast Brazil regional precipitation in a weekly timescale modulated by tropical Pacific and Atlantic SST anomalies during austral autumn. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.19, n.3, p.113-122, 2004.

STONE, R. C.; HAMMER, G. L.; MARCUSSEN, T. Prediction of global rainfall probabilities using phases of the Southern Oscillation Index. **Nature**, v.384, p.252-255, 1996.

STONE, R. C.; SMITH, I.; MCINTOSH, P. Statistical methods for deriving seasonal climate forecasts from GCM´s. In: HAMMER, G.L.; NICHOLS, N.; MITCHELL, C. (Ed.). **Applications of seasonal climate forecasting in agricultural and natural ecosystems.** London: Kluwer, 2000.



Meio Ambiente

Ministério da Agricultura,
Pecuária e Abastecimento

