

Avaliação do processo de gestão de seca: estudo de caso no Rio Grande do Sul

Tatiana Máximo Almeida Albuquerque
Carlos André Bulhões Mendes

RESUMO: Seca é um fenômeno que vem se tornando cada vez mais freqüente em todo o mundo. No Brasil este problema que era associado apenas à região Nordeste, vem ocorrendo com uma certa freqüência no Sul. O Estado do Rio Grande do Sul vem enfrentando secas severas nos últimos anos, em 2005 cerca de 450 municípios decretaram situação de emergência, houve a maior quebra de safra da história do estado. O Brasil apesar de apresentar uma construção integrada da gestão dos Recursos Hídricos através da Lei 9.433, dispõe de uma política falha na gestão de secas, que vem resultando em impactos cada vez maiores. Baseado em experiências de secas severas semelhantes as do Brasil, vários países têm investido no desenvolvimento de pesquisas e metodologias mais seguras para o planejamento, prevenção e combate à seca. Este trabalho apresenta uma avaliação para gestão das secas, baseada na adoção do índice de seca padrão de precipitação em nove municípios gaúchos, posteriormente foi feita uma comparação deste índice com os dados de decretação de situação de emergência fornecidos pela Defesa Civil-RS. Observou-se que na maioria dos municípios analisados, o índice de seca não coincidia com a declaração situação de emergência emitida pela Defesa Civil.

PALAVRAS-CHAVE: seca; gestão de seca; índices de seca.

ABSTRACT: Drought is a phenomenon that is becoming even more frequent in some parts of the world. In Brazil it has been associated to the weather characteristics of the Northeast; however it is getting more frequent also in South Brazil. For instance, the State of Rio Grande do Sul has faced severe droughts in recent years, where 450 municipal districts established drought emergency in 2005. In Brazil, although law no. 9.433/97, called as the National Water Policy, considers the integrated management of water resources, the policies for drought management are wrong and sometimes increase the impacts. Based on similar severe experiences of droughts in Brazil, some countries have invested in the development of researches and safer methodologies for planning, prevention and prevention of droughts. This work presents an evaluation of droughts management methodologies based on the standard precipitation index (SPI). This index is applied in nine municipal districts of Rio Grande do Sul and takes account to confront with data of drought situation emergency alerts established by the municipal authorities. It was observed that, in most cases, the SPI did not coincide with drought situation emergency alerts declared by the cities.

KEYWORDS: Drought; drought management; standard precipitation index (SPI).

INTRODUÇÃO

A seca é um fenômeno que, apesar de ocorrer de forma lenta, gera muitos impactos, com perdas e custos muito elevados. Nas últimas décadas esse fenômeno tem se tornado cada vez mais freqüente. Seus efeitos têm mostrado a vulnerabilidade e a falta de medidas preventivas dos governos locais e da sociedade para lidar com este problema.

Há a necessidade de uma política mais eficiente de combate à seca, não consistindo apenas em medidas

mitigadoras, mas contendo plano de preparação que englobe monitoramento, prevenção, avaliação da vulnerabilidade dos setores e regiões, assim como assistência na preparação e resposta aos impactos gerados (Milwee, 2000).

Exemplos dessas ações têm sido observados em países como Estados Unidos, Portugal, Espanha, China, entre outros, que após experiências mal sucedidas em severos períodos de seca desenvolveram metodologias consistentes e criaram Conselhos e

Programas de Combate à Seca. As metodologias de planos de preparação para seca são aplicadas por meio de ferramentas de auxílio à tomada decisão, baseadas nos índices de seca.

No Brasil a seca geralmente é associada à região Nordeste, com registros desde a colonização portuguesa. Entretanto, as secas tem surgido com certa frequência nas regiões Norte (na Amazônia em 2005 a seca atingiu mais de 914 comunidades) e Sul (no ano de 2005 a seca causou grandes impactos na produção agrícola e pecuária, além de problemas no abastecimento em alguns municípios).

As ações adotadas para o combate à seca no Brasil são relacionadas a programas emergenciais, com soluções reativas caracterizadas pela falta de ferramentas de monitoramento, prevenção e principalmente ações mais eficientes na preparação para época de seca, resultando em grandes impactos nos diversos setores, principalmente o agrícola.

O estado do Rio Grande do Sul vem enfrentando períodos severos de seca, o que tem comprometido a agricultura da região. A metodologia utilizada pelos órgãos responsáveis, como a Defesa Civil, pela prevenção e redução de desastres como a seca, não tem se mostrado consistente, sobretudo pela falta de previsão e monitoramento. Nesse contexto, este trabalho objetiva apresentar uma avaliação da atual gestão de secas realizada pela Defesa Civil, faz uma comparação entre situações de emergência decretadas por este órgão e a classificação da seca obtida através do cálculo do índice de seca padrão de precipitação, aplicados em nove municípios do estado do Rio Grande do Sul.

SECA

A seca é um fenômeno resultante das baixas precipitações por períodos prolongados, da ordem de meses ou até anos, durante o qual a precipitação diminui consideravelmente em relação ao valor climatologicamente esperado ou apropriado (Palmer, 1968). O *National Drought Mitigation Center* (2002a) classifica a seca em:

- ☒ Meteorológica - caracterizada pela falta de água induzida pelo desequilíbrio entre a precipitação e a evaporação.
- ☒ Hidrológica - refere-se às deficiências no suprimento de água superficial ou subterrânea.
- ☒ Agrícola - caracterizada pela falta de umidade que afeta o desenvolvimento e/ou a sobrevivência de culturas agrícolas, pastoris e florestais.

- ☒ Sócio-econômica - ocorre quando o déficit de água induz à falta de bens ou serviços (energia elétrica, alimentos e etc).

A definição do estado de seca é algo difícil e muito importante para o estabelecimento da política necessária ao planejamento e mitigação deste fenômeno, pois alerta para ações seguras como restrições da disponibilidade de água para os usuários e atuação do governo para programas de combate (*National Drought Policy Commission*, 2000). A adoção de índices de seca auxilia na previsão e monitoramento dos períodos de seca através da determinação da intensidade, duração e a frequência com que este fenômeno ocorre.

ÍNDICES DE SECA

Os índices de seca são indicadores utilizados para caracterizar a magnitude, duração, severidade e extensão espacial da seca. Consistem em equações que incluem parâmetros tanto meteorológicos como hidrológicos tais como: precipitação, temperatura, evaporação, umidade do solo, escoamento e parâmetros de suprimento de água, em conjunto com procedimentos estatísticos, que expressam numericamente a severidade da seca, fornecendo um compreensível quadro da situação aos tomadores de decisão (Barra *et al.*, 2002).

Vários são os índices de seca utilizados no mundo para a caracterização dos diversos tipos de seca; alguns são apresentados na Tabela 1. O índice de Palmer (PSDI) é bastante utilizado nos Estados Unidos, para determinar quando permitir assistência emergencial da seca e em planos contingenciais, mas é bastante criticado pela quantidade de variáveis utilizadas e principalmente pelos parâmetros serem mais específicos às características naturais dos USA. O índice *Deciles* é mais utilizado na Austrália. O SPI, formulado em 1993, apesar de ser mais recente, tem sido muito utilizado e com sucesso em vários países como África do Sul (Rouault e Richard, 2003), Portugal (INAG, 2005), Brasil (Blain e Brunini, 2005) etc.

Keyantash e Dracup (2002) elaboraram uma avaliação multi-critério de dezoito índices de seca, segundo os critérios de robustez, maneabilidade (praticidade), transparência, sofisticação, dimensionalidade e extensão. O resultado apontou para o *Deciles* e o SPI como os melhores índices para a caracterização de seca meteorológica. Os autores destacam o SPI como ótimo para estimar a severidade da seca.

TABELA 1
Índices de seca mais utilizados: características, vantagens e desvantagens.

Índices	Descrição	Variáveis utilizadas	Vantagens	Desvantagens
<i>Standardized Precipitation Index - SPI</i> (McKee et al., 1993).	Baseado na probabilidade de precipitação para qualquer escala de tempo.	Série longa de precipitação (mínimo de 30 anos).	Pode ser calculado para diferentes escalas de tempo; pode prever com antecedência a seca; menos complexo que o índice de Palmer.	Valores baseados em dados preliminares podem mudar; necessita de uma série muito longa de dados de precipitação.
<i>Palmer Drought Severity Index -PDSI</i> (Palmer, 1965).	Baseado nos conceitos de balanço entre demanda e suprimento de água.	Precipitação, temperatura e umidade do solo.	Primeiro índice mais abrangente desenvolvido nos Estados Unidos.	O valor do índice pode retardar secas emergentes por vários meses; não é apropriado para áreas montanhosas ou com climas extremos; as escalas de tempo podem ser enganosas; utiliza diversos parâmetros para o cálculo tornando-se mais complexo.
<i>Deciles</i> (Gibbs and Maher, 1967)	Consiste em dividir dados de chuva em 10 escalas numa ordem ascendente e descendente.	Série longa de Precipitação	Fornecer uma medida estatística exata da precipitação.	O cálculo exato requer um registro longo de dados climáticos.

Fonte: Hayes (2002)

Devido às vantagens citadas na Tabela 1, por ser um índice recomendado por vários autores como bom indicador de severidade de seca e principalmente por necessitar apenas de dados de precipitação para o seu cálculo, utilizou-se neste trabalho o índice padrão de precipitação –SPI.

Índice padrão de precipitação (*Standardized Precipitation Index -SPI*).

O SPI foi desenvolvido por McKee *et al.* (1993) e trata-se de um índice que quantifica o déficit ou excesso de precipitação, acumulados para quaisquer escalas de tempo. Essas escalas de tempo refletem o impacto da seca e a disponibilidade de água para os seus diferentes usos (Hayes *et al.*, 1999).

O cálculo do índice SPI para cada localidade é baseado em uma série longa de dados de precipitação, com no mínimo 30 anos de observações. Inicia-se

com a determinação da distribuição de probabilidades de precipitação, a qual é modelada por meio da distribuição Gama. A função inversa é obtida por aproximação pela distribuição Normal, resultando no SPI. O evento seca começa quando SPI torna-se negativo e atinge o valor de -1 e termina quando volta a apresentar valores positivos (Tabela 2) (Blain e Brunni, 2005).

A distribuição Gama é definida pela função de densidade de probabilidade apresentada na equação 1 a seguir:

$$g(x) = \frac{x^{\alpha-1} e^{-x/\beta}}{\beta^{\alpha} \Gamma(\alpha)} \quad (1)$$

onde $\alpha > 0$ é o parâmetro de forma, $\beta > 0$ é o parâmetro de escala, $X > 0$ é a precipitação acumulada e $\Gamma(\alpha)$ é a função gama completa definida pela equação 2:

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^{\infty} y^{\alpha-1} e^{-y} dy \quad (2)$$

Os parâmetros α e β da função densidade de probabilidade Gama são estimados para cada estação, para cada escala de tempo e para cada mês do ano. Utilizam-se as seguintes equações de máxima verossimilhança para estimar α e β :

$$\hat{\alpha} = \frac{1}{4A} \left(1 + \sqrt{1 + \frac{4A}{3}} \right), \quad (3)$$

$$\hat{\beta} = \frac{\bar{x}}{\hat{\alpha}},$$

sendo A uma estatística obtida pela seguinte equação

$$A = \ln(\bar{x}) - \frac{\sum_{i=1}^n \ln(x_i)}{n} \quad (4)$$

onde n =número de precipitações observadas e \bar{x} =precipitação média.

Cálculo da probabilidade acumulada da quantidade de precipitação observada.

Os parâmetros calculados anteriormente são utilizados para o cálculo da probabilidade da precipitação não superar um certo valor associado a um evento, para o mês dado e escala de tempo da estação em questão, por meio da seguinte equação:

$$G(x) = \frac{1}{\Gamma(\hat{\alpha})} \int_0^x t^{\hat{\alpha}-1} e^{-t} dt \quad (5)$$

sendo $t = x / \hat{\beta}$ a variável reduzida da distribuição Gama.

Devido ao fato da função gama completa $\Gamma(\hat{\alpha})$ ser indefinida para $x = 0$, bem como à possibilidade da distribuição de precipitação poder conter zeros, a distribuição de probabilidade acumulada, denotada por $H(x)$, é calculada através da equação 6.

$$H(x) = q + (1 - q)G(x) \quad (6)$$

sendo q a probabilidade de ocorrência de valores nulos. Se m for o número de zeros numa série temporal de precipitação de tamanho n , Thom (1958) estabeleceu que q pode ser estimado por m/n .

Padronização dos cálculos do SPI

Para facilitar o cálculo do valor de Z ou SPI em todas as escalas temporais possíveis e para cada mês do ano, utiliza-se a seguinte aproximação descrita em Abramowitz e Stegun (1965), *apud* Domingos (2006), que convertem a probabilidade acumulada na variável aleatória normalizada (Z):

$$Z = SPI = - \left(t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right), \text{ para } 0 < H(x) \leq 0,5; \quad (3.8)$$

$$Z = SPI = + \left(t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right), \text{ para } 0,5 < H(x) \leq 1,0;$$

onde: $t = \sqrt{\ln\left(\frac{1}{(H(x))^2}\right)}$, para $0 < H(x) \leq 0,5$;

$t = \sqrt{\ln\left(\frac{1}{(1-H(x))^2}\right)}$, para $0,5 < H(x) \leq 1,0$; (3.9)

$c_0 = 2,515517$; $c_1 = 0,802853$; $c_2 = 0,010328$;
 $d_1 = 1,432788$; $d_2 = 0,189269$; $d_3 = 0,001308$.

A Tabela 2 abaixo apresenta os valores de SPI com suas respectivas categorias de seca.

TABELA 2
Valores do spi e suas categorias de seca

Valores de SPI	Categoria de Seca
> 2,0	Extremamente úmido
1,5 ≤ SPI < 2,0	Muito úmido
1,0 ≤ SPI < 1,5	Moderadamente úmido
-0,99 ≤ SPI < 1,0	Normal
-1,49 ≤ SPI ≤ -1,0	Moderadamente seco
-1,99 ≤ SPI ≤ -1,5	Severamente seco
SPI ≤ -2,0	Extremamente seco

Por meio do SPI, pode-se quantificar os déficits de precipitação em várias escalas temporais (1, 3, 4, 6, 9, 12 meses), os quais refletem o impacto da disponibilidade em diversas fontes de água. Por exemplo, as condições de umidade do solo respondem a anormalidades da precipitação em curta escala temporal, enquanto que as vazões e água subterrânea refletem longas escalas de redução de precipitação.

Interpretação do SPI (National Drought Mitigation Center, 2002b)

SPI - 1 mês: trata-se de uma representação mais exata da precipitação mensal, devido ao fato da dis-

tribuição ser normalizada e o SPI de 1 mês refletir circunstâncias de curto prazo;

SPI – 3 meses: os valores refletem condições de curto a médio prazo de água no solo, além da estimativa da precipitação sazonal. Tem grande aplicação na análise da água disponível no solo;

SPI – 6 meses: os valores podem ser muito eficazes em mostrar o excesso de precipitação ao longo das diferentes estações do ano. A informação do SPI de 6 meses pode ser associada às vazões e à anormalidade nos níveis dos reservatórios;

SPI – 12 meses: os valores são provavelmente associados às vazões, níveis de água do reservatório, níveis de água subterrânea, os quais correspondem a escalas de tempo longas.

ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo corresponde a nove municípios do Estado do Rio Grande do Sul: Alegrete; Barracão; Paim Filho; Piratini; Júlio de Castilhos; Sananduva; Santiago; Santo Ângelo e Uruguaina (Figura 1), que foram selecionados devido à disponibilidade de séries longas de dados de precipitação (30 anos) para o cálculo do índice de seca.

O Estado do Rio Grande do Sul tem uma área correspondente a 281.748,538 km² e um total de 496 municípios. De acordo com IBGE (2005), a população estimada corresponde a 10.845.087 habitantes. Apesar de apresentar uma característica climática favorável, com precipitação média anual de 1547mm, vem enfrentando durante os últimos anos, períodos de seca que vem comprometendo a agricultura da região.

A economia do estado é baseada na agricultura (soja, trigo, arroz e milho) e pecuária, sendo um dos maiores exportadores de grãos de país. De acordo com Berlato (2005), a seca de 2004/2005 ocorrida no Rio Grande do Sul foi a mais intensa dos últimos 50 anos. A quebra da safra, causada por essa seca, de 8,5 milhões de toneladas de grãos e em valores de 3,64 bilhões de reais, também é recorde histórico.

De acordo com os dados do IBGE, para a safra 2000/2001, cerca de 77% da produção do arroz irrigado no Brasil foi oriunda do estado do Rio Grande do Sul. Esse cultivo demanda grandes quantidades de água, em que a necessidade máxima estimada pelos orizicultores do Rio Grande do Sul, corresponde a 2L/s/ha (EMBRAPA, 2005).



FIGURA 1. Área de estudo: nove municípios do Estado do Rio Grande do Sul.

Dos nove municípios correspondentes à área estudada, quatro deles estão nas regiões orizícolas de Uruguiana, Alegrete, Santiago e Piratini (Figuras 1 e 2).

A maior demanda de água no Estado do Rio Grande do Sul é destinada à irrigação. De acordo com o relatório anual sobre a situação dos recursos hídricos do Estado do Rio Grande do Sul (2007), a relação da demanda de água anual em relação à disponibilidade mínima anual é apresentada na Figura 3.



FIGURA 2. Mapa das regiões arrozeiras do Estado do Rio Grande do Sul (IRGA, 2006).

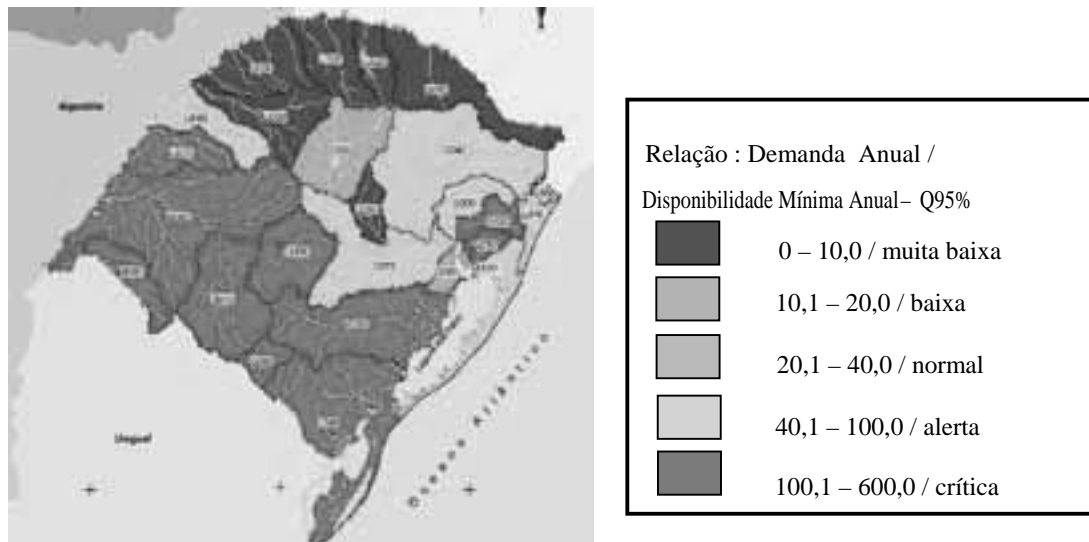


FIGURA 3. Relação demanda anual de água/ disponibilidade mínima anual do RS (DRH, 2007).

A área que apresenta situação de alerta em relação à disponibilidade mínima de água corresponde ao setor de maior produção orizícola do Estado, conforme observado na Figura 2.

METODOLOGIA

A metodologia deste trabalho consistiu nas seguintes etapas:

Coleta dos dados: série histórica de precipitação dos municípios analisados (Tabela 3) obtidos através do Sistema de Informações Hidrológicas (HIDROWEB), da Agência Nacional de Águas (ANA, 2007); dados de situação de emergência e estado

de calamidade pública dos municípios estudados, obtidos através da Defesa Civil do Rio Grande do Sul (1991-2006);

Cálculo do índice de seca padrão de precipitação: utilizando os dados da série histórica de precipitação analisada, para escalas de 1, 3, 6 e 12 meses, conforme procedimento descrito anteriormente;

Análise da coincidência entre os dados do índice de seca padrão de precipitação e os dados da seca da Defesa Civil-RS: realizada através da comparação entre as decretações de situação de emergência da Defesa Civil e o resultado dos índices de seca no mesmo período de análise.

TABELA 3
Cadastro de municípios gaúchos utilizados nos cálculos do SPI

Município	Latitude	Longitude	Série de Dados
Alegrete	-29: 18: 30	-56: 3: 17	1969 - 2006
Barracão	-27: 40: 40	-51: 27: 25	1978 - 2006
Júlio de Castilhos	-29: 51: 7	-54: 4: 3	1976 - 2006
Paim Filho	-27: 42: 14	-51: 46: 3	1957 - 2006
Piratini	-31: 44: 11	-53: 03: 06	1976 - 2006
Sananduva	-27: 57: 1	-51: 48: 52	1957 - 2006
Santo Ângelo	-28: 44: 1	-54: 38: 52	1957 - 2006
Santiago	-29: 2: 51	-55: 9: 4	1969 - 2006
Uruguaiana	-29: 46: 12	-56:30:57	1943 - 2006

RESULTADOS

Por meio dos dados coletados da Defesa Civil foi realizado um cálculo da frequência de emergência dos municípios do Rio Grande do Sul nos anos de 1991 a 2006; esse resultado é apresentado no mapa da Figura 4.

Através da Figura 4, pode-se observar que a maior frequência de emergência (45 a 63 %) ocorre na região noroeste do estado, que não corresponde à área de cultivo de arroz que é o tipo de cultura que mais necessita de água para sua produção. Isto pode ser verificado na Figura 2, por meio do mapa das regiões arrozeiras fornecido pelo Instituto Rio Grandense de Arroz (IRGA, 2006).

Quando se compara estes resultados de frequência de emergência aos valores da razão disponibilidade e demanda hídrica do Estado (Figura 3), observa-se que os dois são bastante diferentes, uma vez que as áreas críticas de disponibilidade de água situam-se na região Sul do Estado.

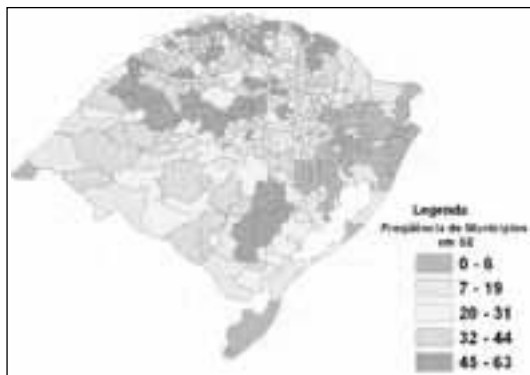


FIGURA 4. Mapa dos municípios em situação de emergência no Estado do Rio Grande do Sul nos anos de 1991 a 2006.

Posteriormente foi realizada uma comparação entre os dados da Defesa Civil e do índice SPI (1, 3, 6 e 12 meses) para os períodos em que houve situação de emergência. Tomando como exemplo o município de Alegrete (Tabela 4), para o período de 1991 a 2006, houve situação de emergência nos anos de 1996, 2000, 2002, 2004, 2005 e 2006, conforme apresentado na primeira coluna da Tabela 4. A segunda coluna corresponde ao mês em

que houve a situação de emergência e nas colunas seguintes as categorias de seca detectadas pelo índice SPI (1, 3, 6 e 12 meses), nesse respectivo mês e ano. Este processo foi realizado para os nove municípios estudados.

TABELA 4
Comparação entre os índices SPI e situação de emergência em Alegrete –RS.

Ano	Mês	SPI - 1	SPI - 3	SPI - 6	SPI - 12	Defesa Civil
1996	1	N	N	N	N	SE
2000	2	N	MDS	N	N	SE
2002	2	N	MDS	N	N	SE
2004	3	MDS	SVS	N	N	SE
2005	2	SVS	N	N	N	SE
2006	3	N	MDS	N	N	SE

Onde: MDS – Moderadamente Seco; SVS - Severamente Seco; ETS - Extremamente Seco; N – Normal; MDU – Moderadamente Úmido; MTU - Muito Úmido; ETU - Extremamente Úmido; SE – Situação de Emergência.

Para o município de Alegrete (Tabela 4), observou-se que, na maioria dos casos em que houve situação de emergência, as médias mensais de precipitação foram normais (SPI - 1), destacando-se os anos de 2004 e 2005 em que houve uma grande seca no Estado. O SPI -3 meses apresentou situação de seca severa no ano de 2004 e nos anos de 2000, 2002 e 2006 seca moderada, mostrando uma possível redução de água do solo. Os índices SPI 6 e SPI 12 meses indicaram que a seca apresentada neste município não teve período prolongado.

Por meio dos resultados para Barracão (Tabela 5), observou-se que todas as médias de precipitação mensais (SPI 1 mês) apresentaram-se normais e até moderadamente úmidas, como foi o caso do ano de 1996. Os dados do SPI 3 meses mostraram que em três dos nove casos analisados, o índice indicou seca moderada, o que caracteriza uma possível redução de água no solo. No ano de 2000 os SPI 6 e SPI 12 meses apresentaram seca moderada, ou seja, houve um déficit acumulado ao longo do ano.

TABELA 5
Comparação entre os índices SPI e situação
de emergência em Barracão -RS.

Ano	Mês	SPI - 1	SPI - 3	SPI - 6	SPI - 12	Defesa Civil
1991 (2x)	3	N	N	N	N	SE
1996	1	MDU	N	N	N	SE
1997	5	N	MDS	N	N	SE
1999	4	N	N	N	N	SE
2000	2	N	N	MDS	MDS	SE
2002	2	N	MDS	N	N	SE
2004	3	N	N	N	MDS	SE
2005	1	N	MDS	N	N	SE

Onde: MDS – Moderadamente Seco; SVC - Severamente Seco; ETS - Extremamente Seco; N – Normal; MDU – Moderadamente Úmido; MTU - Muito Úmido; ETU - Extremamente Úmido; SE – Situação de Emergência.

TABELA 6
Comparação entre os índices SPI e situação
de emergência em Júlio de Castilhos—RS.

Ano	Mês	SPI - 1	SPI - 3	SPI - 6	SPI - 12	Defesa Civil
1991	3	N	MDS	N	N	SE
1996	1	MDU	SVS	MDS	N	SE
1997	5	N	N	N	N	SE
1999	5	N	N	N	N	SE
2000	1	N	N	N	N	SE
2002	1	N	N	N	N	SE
2004	3	MDS	MDS	N	N	SE
2005	2	SVS	MDS	N	N	SE

Onde: MDS – Moderadamente Seco; SVC - Severamente Seco; ETS - Extremamente Seco; N – Normal; MDU – Moderadamente Úmido; MTU - Muito Úmido; ETU - Extremamente Úmido; SE – Situação de Emergência.

TABELA 7
Comparação entre os índices SPI e situação
de emergência em Paim Filho –RS.

Ano	Mês	SPI - 1	SPI - 3	SPI - 6	SPI - 12	Defesa Civil
1991	3	MDS	MDS	N	N	SE
1996	1	ETU	N	N	N	SE
1997	5	N	MDS	N	N	SE
1999	3	N	N	MDS	N	SE
2000	4	N	N	N	MDS	SE
2002	2	N	MDS	N	N	SE
2004	3	N	MDS	N	MDS	SE
2004	12	SVS	N	N	MDS	SE

Onde: MDS – Moderadamente Seco; SVC - Severamente Seco; ETS - Extremamente Seco; N – Normal; MDU – Moderadamente Úmido; MTU - Muito Úmido; ETU - Extremamente Úmido; SE – Situação de Emergência.

TABELA 8
Comparação entre os índices SPI e situação
de emergência em Piratini–RS.

Ano	Mês	SPI - 1	SPI - 3	SPI - 6	SPI - 12	Defesa Civil
1991	3	MDS	MDS	N	N	SE
1996	1	ETU	N	N	N	SE
1997	5	N	MDS	N	N	SE
1999	3	N	N	MDS	N	SE
2000	4	N	N	N	MDS	SE
2002	2	N	MDS	N	N	SE
2004	3	N	MDS	N	MDS	SE
2004	12	SVS	N	N	MDS	SE

Onde: MDS – Moderadamente Seco; SVC - Severamente Seco; ETS - Extremamente Seco; N – Normal; MDU – Moderadamente Úmido; MTU - Muito Úmido; ETU - Extremamente Úmido; SE – Situação de Emergência.

TABELA 9
Comparação entre os índices SPI e situação de emergência em Sananduva –RS.

Ano	Mês	SPI - 1	SPI - 3	SPI - 6	SPI - 12	Defesa Civil
1991 (2x)	3	MDS	MDS	N	N	SE
1996	1	MTU	N	N	N	SE
1997	6	N	N	N	N	SE
1999	4	N	N	N	N	SE
2002	3	N	N	N	N	SE
2004	3	MDS	SVS	N	MDS	SE
2005	1	N	SVS	N	MDS	SE
2004	12	SVS	N	N	MDS	SE

Onde: MDS – Moderadamente Seco; SVC - Severamente Seco; ETS - Extremamente Seco; N – Normal; MDU – Moderadamente Úmido; MTU - Muito Úmido; ETU - Extremamente Úmido; SE – Situação de Emergência.

TABELA 10
Comparação entre os índices SPI e situação de emergência em Santiago –RS.

Ano	Mês	SPI - 1	SPI - 3	SPI - 6	SPI - 12	Defesa Civil
1991	3	N	SVS	N	MDS	SE
1991	5	MDS	MDS	MDS	N	SE
1996	1	N	MDS	N	N	SE
1997	6	N	N	N	N	SE
2000	1	N	MDS	N	N	SE
2002	2	N	SVS	N	N	SE
2004	2	N	N	N	N	SE
2004	3	MDS	SVS	N	N	SE
2005	2	MDS	SVS	MDS	N	SE

Onde: MDS – Moderadamente Seco; SVC - Severamente Seco; ETS - Extremamente Seco; MDU – Moderadamente Úmido; MTU - Muito Úmido; ETU - Extremamente Úmido; SE – Situação de Emergência.

TABELA 11
Comparação entre os índices SPI e situação de emergência em Santo Ângelo-RS

Ano	Mês	SPI - 1	SPI - 3	SPI - 6	SPI - 12	Defesa Civil
1991 (2x)	3	N	MDS	N	SVS	SE
1996	1	MDU	N	N	N	SE
1997	6	N	N	N	N	SE
1999	2	N	N	N	N	SE
2000	1	N	MDS	N	N	SE
2002	3	N	N	N	N	SE
2004	3	MDS	MDS	N	N	SE
2005	2	N	MDS	N	MDS	SE

Onde: MDS – Moderadamente Seco; SVC - Severamente Seco; ETS - Extremamente Seco; N – Normal; MDU – Moderadamente Úmido; MTU - Muito úmido; ETU - Extremamente Úmido; SE – Situação de Emergência.

TABELA 12
Comparação entre os índices SPI e situação de emergência em Uruguaiana –RS.

Ano	Mês	SPI - 1	SPI - 3	SPI - 6	SPI - 12	Defesa Civil
1991	3	N	N	N	N	SE
2002	3	MDU	N	N	N	SE
2005	3	N	SVC	N	MDS	SE

Onde: MDS – Moderadamente Seco; SVC - Severamente Seco; ETS - Extremamente Seco; N – Normal; MDU – Moderadamente Úmido; MTU - Muito úmido; ETU - Extremamente Úmido; SE – Situação de Emergência.

No município de Júlio de Castilhos (Tabela 6), destacam-se as reduções de precipitação nos anos de 2004 e 2005; ressalta-se que em 2005 houve seca severa. Observa-se que apesar do ano de 1996 apresentar-se com precipitações mensais (SPI 1 mês) acima do normal, as condições de água no solo (SPI 3) apresentaram-se severamente secas, o que pode ter ocorrido devido o ano de 1995 ter apresentado meses com secas severas.

Por meio dos resultados para o município de Paim Filho (Tabela 7), nos anos de 1991 e 2004 o índice SPI 1 indicou seca moderada e severa, respectivamente. Observa-se também que na metade dos casos da série analisada, as condições de água no solo representadas pelo SPI-3, indicaram seca moderada. O SPI 12 apresentou déficits de água durante os anos de 2000 e 2004.

Os resultados do município de Piratini (Tabela 8) mostraram que, na maioria dos casos, os índices não apresentaram seca, com exceção do ano de 2005, em que o índice SPI 1 e SPI 3 mostraram seca moderada neste período.

Nos anos de 1991, 2004 e 2005, os índices de seca SPI 1 e SPI 3 (Tabela 9) apresentaram seca moderada e severa para o município de Sananduva. Nos anos de 2004 e 2005, o SPI 3 mostrou que as condições de água do solo indicaram seca severa.

A exemplo de Sananduva, o município de Santiago também apresentou nos anos de 1991, 2004 e 2005, os índices de seca SPI 1 e SPI 3 (Tabela 10) com seca moderada e severa. Nos anos de 2004 e 2005, o SPI 3 mostrou que as condições de água do solo indicaram seca severa.

O município de Santo Ângelo (Tabela 11) apresentou precipitações normais na maioria dos casos, com exceção do ano de 2004. Observa-se também que, no ano de 1991, houve período de seca prolongada que caracteriza reduções de vazão e nível de reservatório, o que é mostrado pelo SPI 12, que apresentou seca severa.

Em Uruguaiana, o ano de 2005 foi o único que apresentou indícios de seca de acordo com o índice SPI 3 e SPI 12 meses (Tabela 12).

A seguir, na Tabela 13, apresenta-se um resumo dos resultados anteriores, por meio de uma porcentagem de coincidência entre os índices SPI (1,3,6 e 12) e as situações de emergência para os municípios estudados. Por exemplo, no município de Alegrete (Tabela 4), foram decretadas seis situações de emergência e o SPI 1 detectou apenas duas coincidências

nesses casos; logo, dois dividido por seis, e multiplicado por 100, resulta em 33%.

Por meio dos resultados apresentados na Tabela 13, observa-se que a maioria das situações de emergência não coincide com os dados do índice de seca resultante do SPI. Os dados mais coincidentes entre os índices e as situações de emergência são representados pelo SPI de três meses, que representa seca de curto prazo. Entretanto, os resultados são significativos para apenas dois dos nove municípios analisados, sendo eles Santiago (77%) e Alegrete (67%).

Dos quatro municípios que estão contidos nas áreas orizícolas, Alegrete e Santiago apresentaram a maior frequência de coincidência entre os dados para o SPI de três meses, conforme comentado anteriormente. Entretanto, o município de Piratini, que teve o maior número de situações de emergência (11), apresentou as menores frequências de coincidência entre os dados do índice e os da Defesa Civil.

Observou-se que na maioria dos municípios estudados os índices e a situação de emergência coincidiram nos anos de 2004 e 2005.

AVALIAÇÃO DA GESTÃO DE SECA

Durante muito tempo, a preocupação em relação à seca no Brasil era associada à região Nordeste, mas nos últimos anos, este evento tem surgido na região Norte, na Amazônia (última seca no ano de 2005 atingiu mais 914 comunidades) e, com bastante frequência na região Sul.

O Estado do Rio Grande do Sul do Brasil vem enfrentando sérios problemas de estiagem. De fato, alguns municípios chegaram a passar por racionamentos de água e, segundo dados da Defesa Civil (2006), nos anos de 2004-2005 cerca de mais de 450 municípios gaúchos, ou seja, 91% dos municípios do Estado, decretaram situação de emergência.

As ações políticas de combate à seca no Brasil até hoje têm sido relacionadas à adoção de programas emergenciais. Poucas foram as iniciativas para a preparação para a seca, observadas através dos resultados deste evento crítico que cada vez mais gera impactos em todos os setores da sociedade.

No caso de prevenções e ações de combate a eventos críticos como a seca, a Defesa Civil é o órgão responsável pela atuação na prevenção e redução de emergências e desastres, bem como na decretação da situação de emergência ou estado de calamidade pública dos municípios do Brasil. Ela é composta por

TABELA 13
Percentagem de coincidência entre os índices SPI
e situação de emergência, nos municípios estudados (1991-2006).

Municípios	Número de Situações de Emergência	SPI - 1	SPI - 3	SPI - 6	SPI - 12
Alegrete	6	33%	67%	0%	0%
Barracão	9	0%	33%	11%	22%
Júlio de Castilhos	8	25%	50%	12%	0%
Paim Filho	8	25%	50%	12%	37%
Piratini	11	9%	27%	9%	0%
Sananduva	8	37%	50%	0%	25%
Santiago	9	33%	77%	22%	11%
Santo Ângelo	9	11%	55%	0%	22%
Uruguaiana	3	0%	33%	0%	33%

diversos órgãos: superior, central, regionais, estaduais, municipais, setoriais e de apoio (SEDEC, 2006).

A Defesa Civil segue o manual para decretação de situação de emergência ou estado de calamidade pública aprovado pelo Conselho Nacional de Defesa Civil, que estabelece uma sistemática, critérios e procedimentos para a decretação das duas possibilidades legais de exceção, em caso de desastre, a serem adotados por todos os órgãos de Defesa Civil, válida em todo território brasileiro (SEDEC, 2006).

O manual é utilizado para todos os tipos de desastres: inundações, vendavais, granizo, seca, acidentes industriais, aéreos, etc. A metodologia utilizada pela Defesa Civil para decretação de situação de emergência ou estado de calamidade pública consiste na avaliação de critérios, em sua maioria subjetivos. Esses critérios adotados são difíceis de ser aplicados e interpretados, e podem dar margem a avaliações errôneas e que resultem em soluções ineficientes no combate à seca, e com geração de gastos excessivos.

Os resultados obtidos através desta pesquisa mostram que na maioria dos municípios estudados do Estado do Rio Grande do Sul, as decretações de situação de emergência não coincidem com os dados do índice de seca padrão de precipitação, além desta área de maior frequência de municípios em situação de emergência não coincidir com as regiões de cultivo

de arroz, que é a cultura que mais necessita de água para sua produção.

De acordo com Godim Filho *et al.* (2003), o gerenciamento atual não incentiva a prevenção de eventos críticos, pois, quando eles ocorrem, o município declara estado de calamidade pública, recebe recursos a fundo perdido e não necessita realizar concorrência pública para obras e serviços. Romper este vício é um desafio.

Observa-se a necessidade de uma metodologia mais eficiente para a gestão de secas no Brasil, na qual a adoção de critérios seja mais objetiva, de forma que não dê margens a interpretações erradas e que, principalmente, trabalhe a gestão de riscos em vez de uma gestão de crises.

Diante de evento natural de perigo que resulte em desastre, os governos adotam ações de avaliação do impacto, resposta, recuperação, e atividades de reconstrução para que a região ou localidade volte ao estado que estava antes do desastre. Pouca atenção é dada à preparação, mitigação e sistemas de alerta (gestão de riscos) que poderão reduzir os impactos futuros e diminuir as necessidades de intervenções futuras do governo.

CONCLUSÕES

Por meio da análise dos resultados apresentados nesta pesquisa observou-se que a área de maior

ocorrência de situação de emergência dos municípios do Estado (decretada pela Defesa Civil - RS) não coincide com as regiões arroyzeiras (Figura 2), bem como com a região mais crítica da razão demanda / disponibilidade mínima hídrica do Estado (Figura 3).

A decretação de situação de emergência dos municípios analisados, na maioria dos casos, não coincide com a incidência de seca meteorológica do índice SPI.

Entre os nove municípios analisados, Alegrete e Santiago foram os que apresentaram as maiores coincidências entre os índices de seca e situação de emergência para seca de curto prazo (SPI 3 meses), para os demais valores de SPI as freqüências de coincidência foram muito baixas.

O município de Piratini, apesar de se localizar em região de arroz e ter o maior número de situações de emergência (11), apresentou os menores valores de freqüência de coincidência entre os dados de seca do índice e de situações de emergência.

Com esta pesquisa observou-se a importância da aplicação do índice de seca para avaliação das condições de seca do Estado. O índice de seca padrão de precipitação é uma ferramenta muito utilizada mundialmente para o monitoramento e previsão de seca, o que a torna fundamental para a tomada de decisões, principalmente em nível político, por permitir analisar a seca com maior clareza e objetividade. É uma recomendação deste artigo que o índice de seca padrão possa ser usado pela Defesa Civil para decretar situação de emergência e estado de calamidade pública.

AGRADECIMENTOS

A autora T. M. A. Albuquerque contou com o suporte da CAPES para realização da presente pesquisa via concessão de bolsas de estudos. A mesma agradece a concessão da bolsa à instituição mencionada.

Referências

- ANA - Agência Nacional de Águas (2007a). *Sistema de Informações Hidrológicas (HIDROWEB)*. Disponível on line em: www.ana.gov.br. Acesso: maio de 2007.
- BARRA, T. S.; COSTA, J. N. M. da; RAO, T. V. R.; SEYDIAMA, G. C.; FERREIRA, W. P. M.; NETO, F.S.D. (2002). *Caracterização Climatológica da Severidade das Secas do Estado do Ceará – Brasil*. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.6, n.2, p.266-272. Campina Grande, PB.
- BERLATO, M. A. (2005). *A Estiagem 2004-2005*. Relatório do Conselho Permanente de Agrometeorologia Aplicada Do Estado do Rio Grande do Sul (COPAAERGS). Porto Alegre –RS. Disponível on line em: <http://www.agrometeorologia.rs.gov.br>, acesso em: dezembro de 2005.
- BLAIN, G. C. e BRUNNI, O. (2005). *Avaliação e Adaptação do Índice de Severidade de Seca de Palmer (PSDI) e do Índice Padronizado de Precipitação (SPI) às Condições Climáticas do Estado de São Paulo*. Bragançã, Campinas, v.64, n.4, p.695-705, 2005.
- DEFESA CIVIL DO RIO GRANDE DO SUL (2006) – *Municípios em Situação de Emergência*. Disponível on line em: <http://www.defesacivil.rs.gov.br>, acesso em: janeiro de 2006.
- DOMINGOS, S. I. S. (2006). *Análise do Índice de Seca Standardized Precipitation Index (SPI) em Portugal Continental e Sua Comparação com o Palmer Drought Precipitation Index (PSDI)*. Tese de licenciatura em Meteorologia, Oceanografia e Geofísica Interna - Variante Meteorologia. Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa.
- DRH/SEMA – DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS/ SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL (2007). *Relatório Anual Sobre a Situação dos Recursos Hídricos no Estado do Rio Grande do Sul - ano de referência 2006*. Governo do Estado do Rio Grande do Sul, Fevereiro de 2007.
- EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (2005). *Cultivo do Arroz Irrigado no Brasil*. Embrapa Clima Temperado. Sistemas de Produção N°3. Disponível on line em: <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/>. Acesso: maio de 2007.
- GIBBS, W. J. and MAHER, J. V. (1967). *Rainfall Deciles as Drought Indicators*. Australian Bureau of Meteorology, Bull. 48,37 pp.
- GODIM FILHO, J. G. C.; FRANCA, D. T.; GERMANO, A. O.; MEDEIROS, V. V. R.; MOLION, L. C. B. (2003). *Prevenção de Eventos Críticos*. Em: O Estado das Águas no Brasil 2001-2002. Edição Comemorativa do Dia Mundial da Água. Agência Nacional de Águas, Brasília.
- HAYES, Michael J. (2002). *Drought Indices*. National Drought Mitigation Center, University of Nebraska – Lincoln. Disponível on line em: <http://www.drought.unl.edu>. Acesso em: setembro de 2005.
- HAYES, M.J.; M.J. SVOBODA; D.A. WILHITE; e VANYARKHO, O. V. (1999). *Drought Monitoring The 1996 Drought Using The Standardized Precipitation Index*. Bull. Am. Meteorol. So. 80 (3): p. 429-438.
- IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (2005). *Censo Demográfico*. Disponível on line em: www.ibge.gov.br. Acesso: maio de 2007.

INAG – INSTITUTO DA ÁGUA (2005). *Programa de Acompanhamento e Mitigação dos efeitos da Seca 2005*. Portugal. Versão de 22 de fevereiro de 2005. Acesso em: www.inag.pt/ Acesso em: julho de 2005.

IRGA – Instituto Riograndense de Arroz (2006). *Mapa das Regiões Arrozeiras do Rio Grande do Sul*. Disponível on line em: <http://www.irga.rs.gov.br/index.php> . Acesso em : dezembro de 2006.

KEYANTASH, J. and DRACUP, J.A. (2002). *The quantification of drought: An evaluation of drought indices*. Bulletin of the American Meteorology Society, v. 83 n.8, p.1167-1180.

MCKEE, T. B. ; Doesken, N. J. e Kleist, J (1993). *The relationship of drought frequency and duration to time scales*. Pre-prints, 9 th Conf. on Appl. Clim., Dallas, TX. 233-236.

MILLWEE, Tom. (2000). *Division of Emergency Management*. Texas Department of Public Safety . Disponível on line em: www.texdps.state.tx.us/dem/documents.htm. Acesso em: março de 2006.

NATIONAL DROUGHT MITIGATION CENTER (2002a). *What's Drought? - Understanding and Defining Drought*. Disponível on line em: <http://www.drought.unl.edu/whats> Acesso em: janeiro de 2006.

NATIONAL DROUGHT MITIGATION CENTER (2002b). *The Standardized Precipitation Index – SPI Program Files*. Disponível on line em: <http://www.drought.unl.edu/> Acesso em: janeiro de 2006.

NATIONAL DROUGHT POLICY COMMISSION (2000). *Preparing for Drought in the 21st Century*. National Drought Policy Commission Report. Disponível on line em: <http://www.fsa.usda.gov/drought/default.htm> . Acesso em: maio de 2006.

PALMER, W.C. (1968). *Keeping Track of Crop Moisture Conditions, Nationwide: The New Crop Moisture Index*. Weatherwise, 21, 156-161.

PALMER, W. C. (1965). *Meteorological Drought*. Weather Bureau, Reserarch Paper N°. 45, U. S. Dept. Of Commerce, Washington, DC, 58 pp.

ROUAULT, M.; and RICHARD, Y. (2003). *Intensity and Spatial Extension of Drought in South Africa at Different Time Scales*. Journal Water SA. Volume 9, N° 4. Outubro de 2003. Pp 489-500. South Africa Water Research Commission. Disponível on line em: <http://www.wrc.org.za>. Acesso em: março de 2006.

SEDEC- Secretaria Nacional de Defesa Civil (2006). *Sistema Nacional da Defesa Civil*. Disponível on line em: <http://www.defesacivil.gov.br/sindec/index.asp>. Acesso em agosto de 2005.

THOM, H. C. S. (1958). *A Note on the Gamma Distribution*. Monthly Weather Review 86:177-122.

Tatiana Máximo Almeida Albuquerque Doutoranda do curso de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental do Instituto de Pesquisas Hidráulicas, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. E-mail: tatiana.maximo@uol.com.br.

Carlos André Bulhões Mendes Professor do Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental do Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. E-mail: mendes@iph.ufrgs.br.