



**Tendência do Índice Hídrico Sazonal do Rio Grande do Sul e Sua Relação com *El Niño* e *La Niña***  
Trend of the Seasonal Water Index of Rio Grande do Sul State and its Relationship with El Niño and La Niña

Ana Paula Assumpção Cordeiro<sup>1</sup>; Moacir Antonio Berlato<sup>2</sup> & Rita de Cássia Marques Alves<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, Av. Bento Gonçalves, 9500, Setor 5, Prédio 44202, 91501-970, Bairro Agronomia, Porto Alegre, RS, Brasil

<sup>2</sup>Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Faculdade de Agronomia, Departamento de Plantas Forrageiras e Agrometeorologia, Av. Bento Gonçalves, 7712, 91540-000, Bairro Agronomia, Porto Alegre, RS, Brasil  
E-mails: apacufrgs@gmail.com; moacir.berlato@ufrgs.br; rita.alves@ufrgs.br

Recebido em: 16/07/2018 Aprovado em: 11/10/2018

DOI: [http://dx.doi.org/10.11137/2018\\_3\\_216\\_226](http://dx.doi.org/10.11137/2018_3_216_226)

## Resumo

Tendo em vista as tendências observadas nas variáveis meteorológicas originais, principalmente precipitação pluvial, insolação (brilho solar) e temperatura, nas últimas décadas, no Rio Grande do Sul, este trabalho teve como objetivos: analisar a tendência do índice hídrico (IH) sazonal, derivado do balanço hídrico seriado e relacioná-lo com *El Niño* e *La Niña*, bem como quantificar a frequência de IH considerados críticos em relação à disponibilidade hídrica ( $IH \leq 0,6$ ), no período de 1979-2009. Na média do Estado houve aumento linear do IH, estatisticamente significativo, na primavera, associado à maior precipitação pluvial nesta estação do ano. Na primavera, 86% das estações meteorológicas apresentaram aumento do IH, sendo 58% destas com sinais estatisticamente significativos. Eventos *El Niño* determinaram maiores IH e eventos *La Niña*, menores IH, no verão e na primavera, com destaque para *El Niño*, com IH maior em 86% dos casos na primavera e 77% dos casos no verão. Na metade sul do Estado houve alta frequência de ocorrências de  $IH \leq 0,6$ , por dois ou mais meses consecutivos, principalmente em dezembro e janeiro. Estes resultados confirmam as limitações hídricas na metade sul do Estado para as culturas de primavera-verão não irrigadas e servem de subsídio para o manejo do calendário agrícola, quando da previsão de *El Niño* ou *La Niña*.

**Palavras-chave:** Balanço hídrico; Déficit hídrico; Variabilidade climática; Mudança climática

## Abstract

Considering the trends observed in the original meteorological variables, mainly precipitation, sunshine and temperature, in the last decades, in Rio Grande do Sul State, this work had the objective of analyzing the trend of the seasonal water index (WI), derived from the serial hydric balance and to relate it to El Niño and La Niña, as well as to quantify the frequency of WI considered critical in relation to water availability ( $WI \leq 0.6$ ) from the 1979-2009 period. In the average of the State, there was a linear increase in WI, statistically significant, in Spring, associated with higher precipitation during this season of the year. In the Spring, 86% of the meteorological stations showed an increase in WI, with 58% of these with statistically significant signs. El Niño events determined higher WI and La Niña events, lower WI, in Summer and Spring, especially El Niño, with greater WI in 86% of cases in Spring and 77% of cases in Summer. In the southern half of the State there was a high frequency of occurrences of  $WI \leq 0.6$ , for two or more consecutive months, mainly in December and January. These results confirm the water limitations of the southern half of the State for non-irrigated Spring-Summer crops and serve as a subsidy for the management of the agricultural calendar, when El Niño or La Niña is forecast.

**Keywords:** hydric balance; hydric deficit; Climate variability; Climate change

## 1 Introdução

Yao (1969) propôs o “Índice R” para a determinação das disponibilidades hídricas do solo para as plantas cultivadas, sendo definido como a razão entre a evapotranspiração real (ETR) e a evapotranspiração potencial, esta, hoje, chamada de evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>). Yao (1969) mostrou que a distribuição de frequência deste índice se ajusta à distribuição de probabilidade Beta, exceto para índices >0,95, de limitada importância para a maioria das plantas cultivadas. Silva & Azevedo (1994) propuseram um valor crítico de 0,6 para este índice, abaixo do qual indica déficit hídrico e acima, condições hídricas adequadas. Outros pesquisadores do Brasil têm utilizado esse critério para avaliação das condições hídricas de uma região, como, por exemplo, Accioly *et al.* (2001), na regionalização agroclimática do estado de Pernambuco, D’Angiolella *et al.* (2005) na estimativa e espacialização do balanço hídrico no sul da Bahia e Leivas *et al.* (2006) para o cálculo de probabilidade de deficiência hídrica decendial na metade sul do estado do Rio Grande do Sul.

Leivas *et al.* (2006), utilizando dados decendiais do índice hídrico (IH), dado pela razão ETR/ET<sub>o</sub>, do período da normal climatológica padrão de 1961-1990, concluíram não haver tendência significativa de aumento ou redução deste índice, para a metade sul do Rio Grande do Sul, neste período. A metade sul do Estado, considerada por Leivas *et al.* (2006) compreende as Regiões Ecoclimáticas da Depressão Central, Campanha, Serra do Sudeste, Região dos Grandes Lagos e Litoral. É a região onde a probabilidade de a precipitação pluvial superar a evapotranspiração potencial ou de referência é menor que 50%, nos meses de novembro a fevereiro (Ávila *et al.*, 1996) e onde as estiagens nessa época são mais frequentes e intensas.

Para o caso de culturas agrícolas, este índice é, atualmente, mais comumente utilizado na forma (ETR/ET<sub>m</sub>), onde ET<sub>m</sub> é a evapotranspiração máxima da cultura que varia com o desenvolvimento da planta e é obtida em lisímetros ou evapotranspirômetros, em ótimas condições de umidade do solo. Ou então pela multiplicação da evapotranspiração de referência

pelo chamado coeficiente de cultura (K<sub>c</sub>), também obtido em lisímetros ou evapotranspirômetros. O índice ETR/ET<sub>m</sub> é denominado, por alguns autores, de Índice de Satisfação da Necessidade de Água das culturas (ISNA).

Matzenauer *et al.* (2002) calcularam o índice ETR/ET<sub>m</sub>, chamando de evapotranspiração relativa, para diversos anos e épocas de semeaduras do milho e da soja em dez localidades do Rio Grande do Sul (Cruz Alta, Júlio de Castilhos, Passo Fundo, Santa Rosa, São Borja, São Gabriel, Taquari, Rio Grande, Encruzilhada do Sul e Veranópolis), estimando a evapotranspiração máxima com o auxílio do K<sub>c</sub>, determinado experimentalmente no Estado. Entre outros resultados, concluíram que os valores dessa relação iguais ou menores que 0,6, para o período crítico da soja (início da floração ao enchimento de grãos) e de 0,7 para o período crítico do milho (início do pendramento até 30 dias após) reduzem significativamente os rendimentos dessas culturas. Tanto na forma ETR/ET<sub>o</sub>, como ETR/ET<sub>m</sub>, esses índices estão altamente correlacionados com o rendimento, especialmente no período crítico, de culturas de primavera-verão não irrigadas no Rio Grande do Sul, e são usados como variáveis independentes em modelos agrometeorológicos de estimativa de rendimento e previsão de safras, como, por exemplo, os modelos derivados por Berlatto (1987) para soja e Matzenauer (1994) para milho.

Além dos relatórios do IPCC (p. ex., IPCC, 2013) sobre o aumento da temperatura média global, muitos trabalhos científicos têm mostrado, também, aumento de extremos climáticos, como aumento de dias quentes e ondas de calor, redução de dias frios, aumento de precipitações pluviiais intensas, entre outros índices (Frich *et al.*, 2002; Alexander *et al.*, 2006; Asadich & Krakauer, 2015).

Na América do Sul, especialmente no sudeste da América do Sul (SAS), que inclui o sul do Brasil, onde um maior número de estações meteorológicas foi analisado, foram mostrados, também, aumento da temperatura, aumento de noites quentes, aumento de ondas de calor, redução de noites frias e da amplitude térmica, aumento da precipitação pluvial e do número de dias com precipitações intensas (Rusticucci

& Barrucand, 2004; Vincent *et al.*, 2005; Haylock *et al.*, 2006; Doyle & Barros, 2006; Marengo & Camargo, 2008; Barros *et al.*, 2008).

No Rio Grande do Sul, resultados observacionais indicam aumento da temperatura, forte redução das amplitudes térmicas, aumento da precipitação pluvial, aumento do número de dias com precipitação pluvial, redução da insolação e aumento da nebulosidade diurna (Fontana & Almeida, 2002; Althaus & Berlato, 2007; Steinmetz *et al.*, 2007; Berlato *et al.*, 2007; Cunha *et al.*, 2007; Custódio *et al.*, 2007, 2009; Cordeiro, 2010; Rossato, 2011).

Segundo Hansen *et al.* (2005), por consequência do aumento do efeito estufa, entre outras forçantes, a Terra está com balanço radiativo positivo (do inglês *imbalance*), ou seja, está absorvendo mais energia que a emitida para o espaço. Esse saldo de radiação é o que está aquecendo o oceano e a atmosfera, entre outros impactos.

Por outro lado, *El Niño* e *La Niña*, as duas fases do fenômeno denominado “*El Niño Oscilação Sul*” (ENOS), que consistem, basicamente, no aquecimento (*El Niño*) ou no resfriamento (*La Niña*) das águas do Pacífico equatorial, provocam impactos no clima de diversas partes do Globo. Embora não sejam os únicos modos de variabilidade interanual da tendência de longo prazo de aumento da temperatura média global, *El Niño* e *La Niña* são muito importantes. Em geral, quando o Oceano Pacífico central e leste aquece, a temperatura global aumenta e quando o Oceano Pacífico central e leste esfria, a temperatura global diminui.

O Rio Grande do Sul é uma das áreas de forte sinal do fenômeno ENOS, que causa a variabilidade interanual de diversos elementos meteorológicos na região, como, por exemplo, precipitação pluvial, temperatura, insolação (brilho solar) e nebulosidade diurna (Fontana & Berlato, 1997; Puchalski, 2000; Berlato & Fontana, 2003; Cordeiro 2010; Paula *et al.*, 2015; Custódio, 2016; Cordeiro *et al.*, 2016).

Com a hipótese que as tendências observadas nas variáveis originais, especialmente precipitação pluvial, temperatura e insolação, são transferidas para as variáveis derivadas do

balanço hídrico e que o ENOS exerce influência sobre estas no estado do Rio Grande do Sul, os objetivos deste trabalho foram:

Avaliar a tendência temporal e espacial do IH no Rio Grande do Sul, na escala de tempo sazonal;

Relacionar o IH com *El Niño* e *La Niña*;

Quantificar o IH crítico ( $IH \leq 0,6$ ) no Estado.

## 2 Material e Métodos

### 2.1 Área de Estudo

A área de estudo é o estado do Rio Grande do Sul (Figura 1), situado no extremo meridional do Brasil, entre as latitudes aproximadas de 27 a 34° Sul e longitudes aproximadas de 50 a 57° Oeste. As altitudes variam desde o nível médio do mar, no litoral, a 1.300 m no extremo nordeste do Estado. Segundo a classificação climática de Wladimir Köppen (Köppen, 1948) o clima predominante no Rio Grande do Sul é o tipo Cfa, e em regiões de maior altitude, como a Serra do Nordeste, os Campos de Cima da Serra e a Serra do Sudeste, é do tipo Cfb. A letra “C” indica clima subtropical ou temperado, a letra “f” indica que as precipitações pluviais médias são razoavelmente bem distribuídas no ano, no sentido de que não há estação seca nem estação chuvosa bem caracterizada. A letra “a” indica verão quente, com temperatura média do mês mais quente (janeiro) superior aos 22°C, enquanto que a letra “b” indica verão ameno, com temperatura média do mês mais quente inferior aos 22°C.

### 2.2 Dados Meteorológicos

Os dados originais médios mensais de temperatura mínima e temperatura máxima do ar (°C), e os totais mensais de precipitação pluvial (mm) e insolação (horas e décimos), do período de janeiro de 1971 a dezembro de 2009 foram obtidos junto ao 8° Distrito de Meteorologia do Instituto Nacional de Meteorologia (8° DISME/INMET).

A qualidade dos dados meteorológicos foi examinada de maneira simples, verificando-se, nas séries de dados, valores que apresentassem grande discrepância, quando comparados aos observados

em estações vizinhas, ou na própria série de dados da estação. A análise de homogeneidade foi feita, também, de maneira muito simples. Através da inspeção visual de picos nos gráficos das séries históricas, foi inspecionada a possível ocorrência de saltos nas séries, que podem não ser de natureza meteorológica, mas sim de mudança de local da estação ou de troca instrumentos de observação. Desta triagem resultaram 14 estações meteorológicas, com boa qualidade de dados e representativas das diversas Regiões Ecoclimáticas do Estado (Figura 1).

### 2.3 Dados de El Niño e La Niña

Os episódios de *El Niño* e *La Niña* foram obtidos do *National Weather Service/Climate Prediction Center/National Oceanic and Atmospheric Administration-NOAA*, que considera o

desvio de +/- 0,5°C da Temperatura da Superfície do Mar (TSM), da região do Niño 3.4, no Oceano Pacífico equatorial, em relação a um período base de 30 anos. Um episódio de *El Niño* ou *La Niña* é considerado, quando a média móvel de três meses da TSM perdura por, no mínimo, cinco trimestres consecutivos com anomalias de  $TSM \geq 0,5^\circ\text{C}$  ou  $TSM \leq -0,5^\circ\text{C}$ , respectivamente (NOAA, 2017).

### 2.4 Métodos

O IH é dado por:

$$IH = (ETR/ETo) \quad (1)$$

Onde, ETR é a evapotranspiração real e ETo é a evapotranspiração de referência. O IH é adimensional e varia de zero a um (0 a 1). É “zero” quando não há água disponível no solo e “um” quando não há limitação de água.

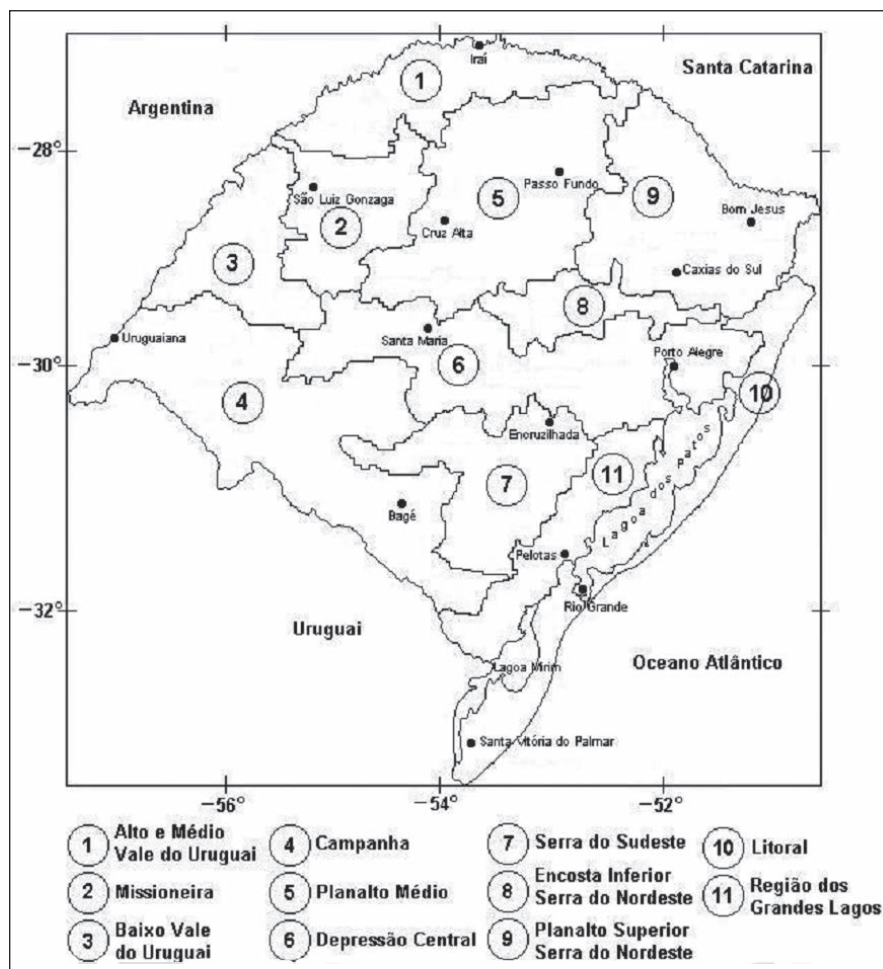


Figura 1 Regiões Ecoclimáticas do Rio Grande do Sul (adaptado de Maluf & Caiaffo, 2001) e estações meteorológicas utilizadas.



A evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ) foi calculada pela equação de Priestley & Taylor (1972) dada por:

$$ET_0 = \alpha \times \left( \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \right) \times Rn \quad (2)$$

Onde  $\alpha$  é o parâmetro de Priestley & Taylor=1,26, para condição saturada (potencial) e em ausência de advecção,  $\Delta$  é a tangente que relaciona a pressão de saturação do vapor d'água e temperatura;  $\gamma$  é o coeficiente psicrométrico;  $Rn$  é o saldo de radiação. A equação de Priestley & Taylor, é uma interessante modificação da equação de Penman (Penman, 1956) pois dispensa dados de vento a 2m de altura, não disponível em estações meteorológicas convencionais, e parâmetros de planta. O resultado dessa equação é em termos de energia (dependendo do tipo de unidade de energia utilizada para  $Rn$ ), que depois é expressa em termos de evapotranspiração equivalente.

O  $Rn$  foi estimado pela relação com a radiação solar global ( $R_g$ ), para condição de solo vegetado com grama, utilizando a equação ajustada por Bergamaschi *et al.* (2003), dada por:

$$Rn = (-18,81 + 0,69 \times Rg) \quad (3)$$

Nesta equação o  $Rn$  é dado em  $\text{cal.cm}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ .

A radiação solar global foi obtida pela equação de Ångström, dada por (Vianello & Alves, 2000):

$$Rg = Ra \times \left( b_0 + b_1 \times \left( \frac{n}{N} \right) \right) \quad (4)$$

Onde  $Ra$  é a radiação no topo da atmosfera;  $n$  é a insolação (brilho solar) medida por heliógrafo e  $N$  é a insolação máxima possível (comprimento astronômico do dia). Os coeficientes da equação de regressão linear,  $b_0$  e  $b_1$ , utilizados foram coeficientes médios ajustados por Fontana & Oliveira (1996), os quais variam mensalmente e conforme a Região Ecoclimática do Estado.

Os parâmetros e termos como  $Ra$ ,  $N$ ,  $\Delta$ ,  $\gamma$  e  $\lambda$ , em geral são encontrados em Tabelas, em textos

de Agrometeorologia, mas no presente caso foram calculados de forma analítica, pelas equações disponíveis em, entre outros, Burman & Pochop (1994).

A evapotranspiração real (ETR) foi estimada através do método do balanço hídrico seriado, em nível mensal, conforme a metodologia desenvolvida por Thornthwaite & Mather (1955), com uma capacidade de armazenamento de água disponível (CAD) de 100 mm, como é usual em balanço hídrico climático.

## 2.5 Tendência Temporal

A tendência temporal das séries de dados sazonais do IH foi calculada pelo método clássico dos mínimos quadrados para o ajuste da regressão linear (Wilks, 1995), avaliando-se a tendência com o teste de hipótese (teste  $t$ ), para o coeficiente de regressão  $\beta_1$  ( $\beta_1=0$ , não existe tendência;  $\beta_1 \neq 0$ , existe tendência), nos níveis de significância de 10%, 5% e 1%.

## 3 Resultados e Discussão

Houve tendência linear de aumento do IH, estatisticamente significativa a 5%, na primavera (Figura 2), na média das estações meteorológicas representativas do Rio Grande do Sul. A tendência de aumento do IH, na primavera, se deve à maior ocorrência de eventos *El Niño*. No período estudado (1971-2009), houve 14 eventos de *El Niño*, ou seja, 36% das primaveras tiveram a ocorrência do *El Niño*. O *El Niño* determina anomalia positiva da precipitação pluvial no Rio Grande do Sul, principalmente na primavera e início de verão (Fontana & Berlato, 1997; Puchalski, 2000; Cordeiro, 2010). Como se sabe, a precipitação pluvial é a variável dominante no balanço hídrico. Além disso, conforme Barros *et al.* (2008), cerca da metade da tendência positiva observada na precipitação pluvial no nordeste da Argentina, sul do Brasil (com várias estações meteorológicas do Rio Grande do Sul) e Paraguai, no período de 1960-1999, é devido à tendência observada nos eventos de *El Niño*.

O efeito de *El Niño* e *La Niña* no IH pode ser observado na Figura 2, em que eventos *El Niño* tendem a aumentar o IH e eventos *La Niña* tendem a diminuir este índice, na primavera e no verão, mas com destaque para *El Niño*, em que 86% dos eventos determinaram valores mais altos do IH na primavera e 77%, no verão.

Quanto à tendência espacial do IH (Figura 3), doze das quatorze (86%) estações meteorológicas apresentaram sinal positivo (aumento) do IH na primavera, sendo 58% destas com significância estatística.

Ainda na Figura 3, observa-se que no verão a grande maioria das estações meteorológicas (10 das 14) apresentou sinal negativo (redução) do IH, mas apenas três delas com significância estatística.

Entretanto, uma estação meteorológica do extremo nordeste do Estado (Bom Jesus) chama a atenção por apresentar sinal contrário (aumento) do IH e estatisticamente significativo (5%). Verificando-se as variáveis meteorológicas de 1971-2009, de Bom Jesus, constatou-se que houve pequeno aumento da precipitação pluvial, significativa redução da insolação e redução da evapotranspiração de referência, o que justifica o aumento significativo do índice hídrico no verão nesta localidade. No outono houve predominância do sinal positivo e no inverno predominância do sinal negativo, mas ambas estações do ano tiveram poucas estações meteorológicas com significância estatística (Figura 3).

A Tabela 1 mostra os IH críticos ( $\leq 0,6$ ) de novembro a março, com duração de dois ou mais

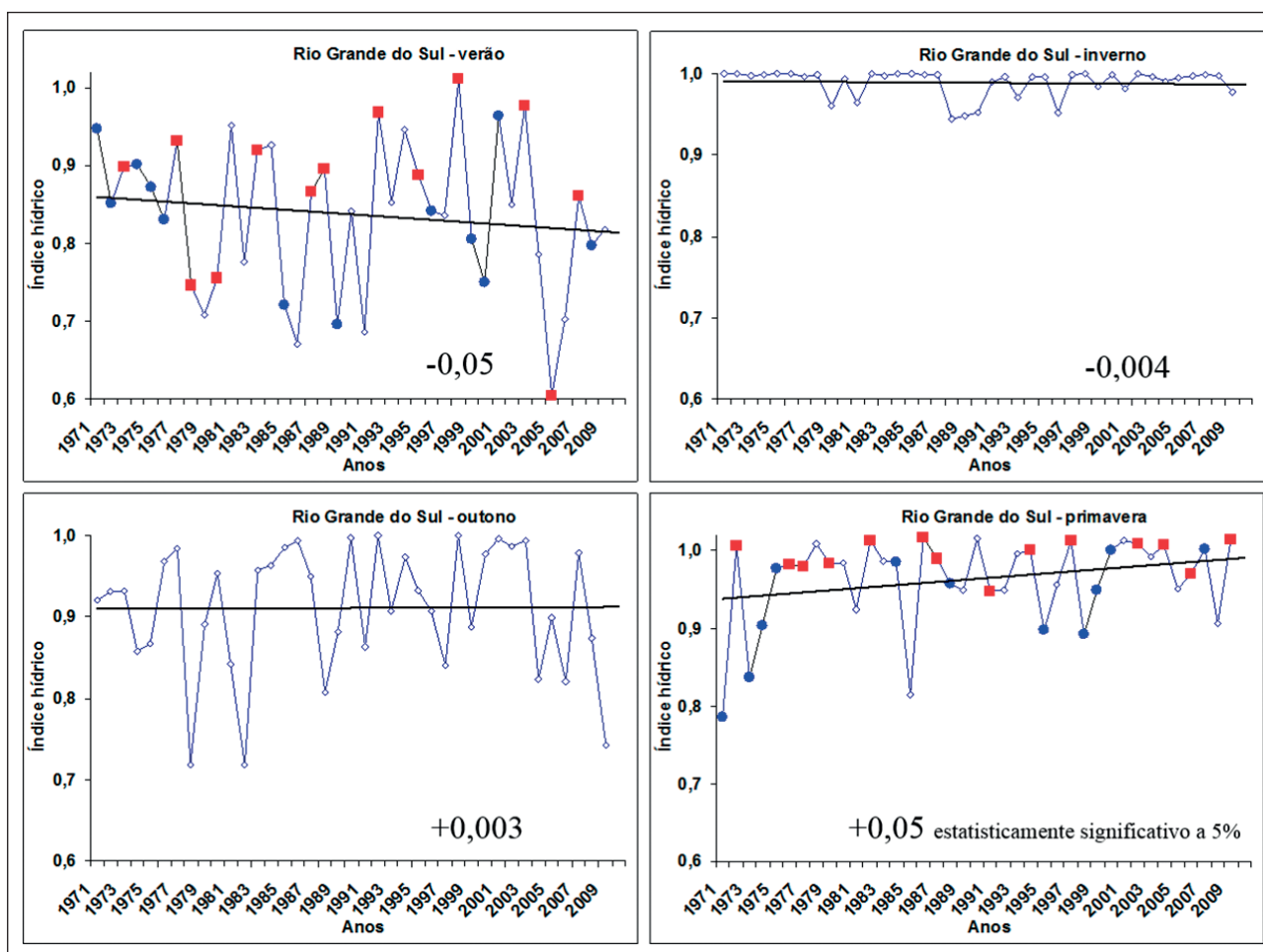


Figura 2 Tendência linear sazonal do índice hídrico no estado do Rio Grande do Sul, período 1971-2009. *El Niño*, identificado em vermelho e *La Niña*, em azul.

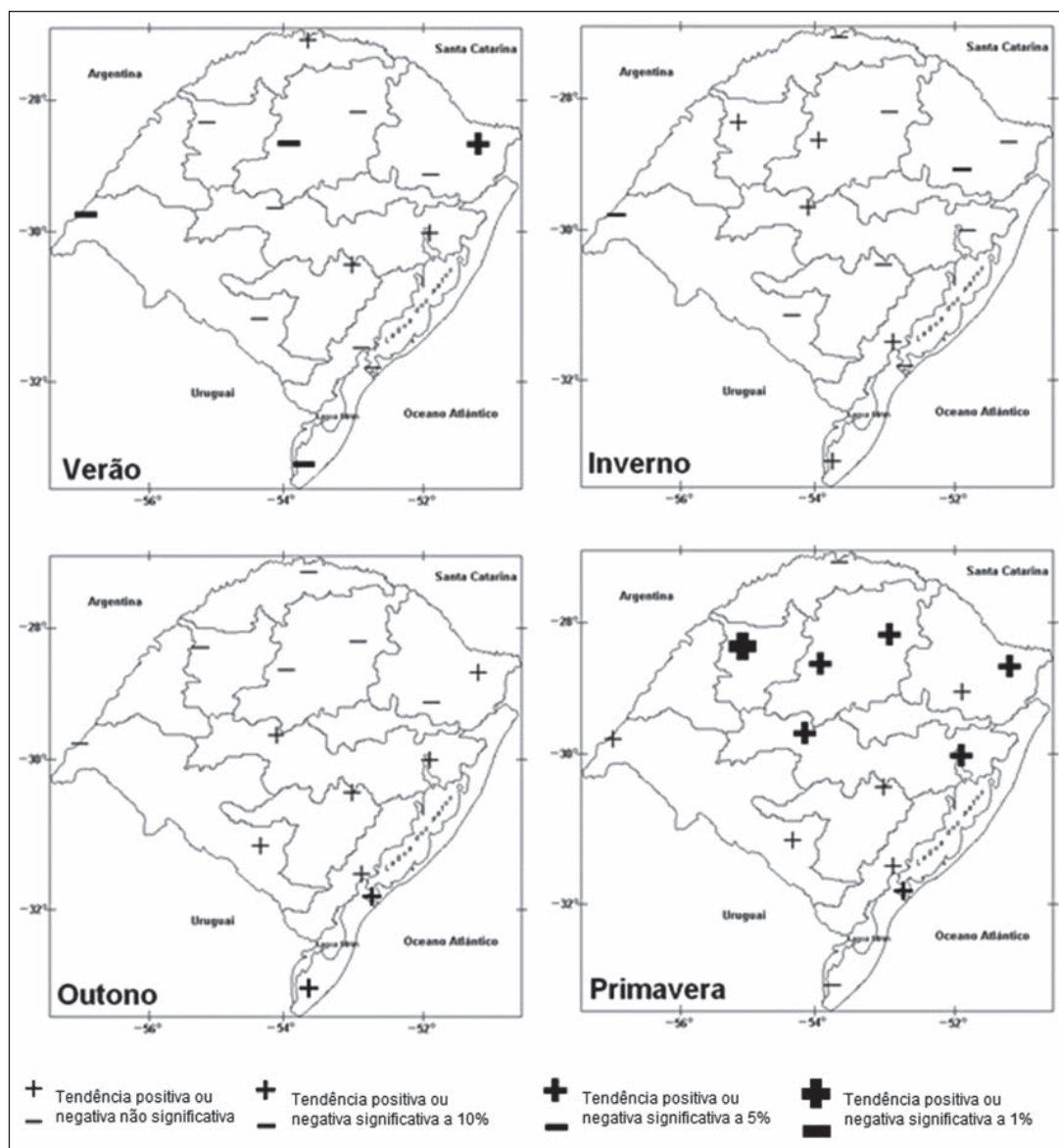


Figura 3 Sinal de tendência linear do índice hídrico, nas estações do ano, período 1971-2009.

meses consecutivos, no período 1971-2009. Nela observa-se que, houve alta frequência de  $IH \leq 0,6$  nesses meses, na metade sul do Rio Grande do Sul, justamente no período em que se concentram os cultivos de primavera-verão, não irrigados, em que uma adequada disponibilidade hídrica é fundamental para o estabelecimento e desenvolvimento das plantas. O IH foi menor ou igual a 0,6, para as oito localidades situadas na metade sul do Estado, no período de 1971-2009.

Na referida tabela, também, é possível observar os anos em que os baixos IH foram mais prolongados,

se mantendo menor ou igual a 0,6 por quatro meses consecutivos, como no caso das estiagens de 1971/1972 em Bagé (novembro a fevereiro) e de 2003/2004 em Rio Grande (dezembro a março), ou baixos por três meses consecutivos, no caso de Santa Vitória do Palmar (dezembro de 1979 a fevereiro de 1980), Porto Alegre (novembro de 1981 a janeiro de 1982), Bagé e Pelotas (dezembro de 1984 a fevereiro de 1985), Uruguiana e Santa Maria (novembro de 1985 a janeiro de 1986), Santa Vitória do Palmar (janeiro a março de 1987), Uruguiana e Santa Vitória do Palmar (dezembro de 1988 a fevereiro de 1989), Uruguiana (novembro de 1996 a janeiro de

1997), Uruguaiana (novembro de 1998 a janeiro de 1999), Santa Vitória do Palmar (novembro de 1999 a janeiro de 2000 e de 2000/2001), Pelotas (janeiro a março de 2004), Porto Alegre (dezembro de 2004 a fevereiro de 2005), Santa Vitória do Palmar e Santa Maria (janeiro a março de 2005), Santa Vitória do Palmar (novembro de 2005 a janeiro de 2006 e de 2006/2007).

Além das estiagens prolongadas, na Tabela 1, também, se verifica, os anos em que as estiagens foram, especialmente, mais abrangentes, como nos anos de 1985/1986, 1991, 1999/2000, 2005/2006 em que cinco das oito estações meteorológicas apresentaram IH menores ou igual a 0,6, e mais ainda, na estiagem de 2004/2005, em que sete das oito estações apresentaram  $IH \leq 0,6$ .

Anos	Estações Meteorológicas	Meses				
		NOV	DEZ	JAN	FEV	MAR
1971	Rio Grande	0,5	0,4	-	-	-
1971	Santa Maria	0,4	0,5	-	-	-
1971/	1972 Bagé	0,6	0,6	0,6	0,3	-
	1973 Santa Vitória do Palmar	-	-	-	0,6	0,5
1973	Santa Vitória do Palmar	0,2	0,4	-	-	-
1973	Rio Grande	0,3	0,5	-	-	-
1974/	1975 Santa Vitória do Palmar	-	0,4	0,5	-	-
1977/	1978 Rio Grande	-	0,4	0,4	-	-
1977/	1978 Pelotas	-	0,4	0,4	-	-
	1978 Porto Alegre	-	-	-	0,3	0,4
1979/	1980 Rio Grande	-	0,5	0,1	-	-
1979/	1980 Santa Vitória do Palmar	-	0,5	0,2	0,5	-
1980/	1981 Santa Vitória do Palmar	-	0,6	0,4	-	-
1981/	1982 Porto Alegre	0,6	0,6	0,1	-	-
1984/	1985 Porto Alegre	-	0,4	0,4	-	-
1984/	1985 Bagé	-	0,5	0,3	0,4	-
1984/	1985 Pelotas	-	0,5	0,5	0,4	-
1985	Encruzilhada do Sul	0,3	0,3	-	-	-
1985	Bagé	0,4	0,3	-	-	-

1985		Pelotas	0,6	0,5	-	-	-
1985/	1986	Uruguaiana	0,5	0,3	0,5	-	-
1985/	1986	Santa Maria	0,3	0,1	0,3	-	-
	1987	Santa Vitória do Palmar	-	-	0,5	0,6	0,5
	1988	Porto Alegre	-	-	-	0,4	0,1
	1988	Encruzilhada do Sul	-	-	-	0,5	0,4
	1988	Rio Grande	-	-	-	0,3	0,3
1988/	1989	Uruguaiana	-	0,5	0,4	0,4	-
1988/	1989	Santa Vitória do Palmar	-	0,4	0,4	0,4	-
	1989	Pelotas	-	-	-	0,6	0,5
1989/	1990	Porto Alegre	-	0,4	0,4	-	-
1989/	1990	Bagé	-	0,4	0,2	-	-
	1991	Santa Maria	-	-	0,5	0,3	-
	1991	Pelotas	-	-	0,6	0,2	-
	1991	Rio Grande	-	-	0,4	0,2	-
	1991	Santa Vitória do Palmar	-	-	0,5	0,1	-
	1991	Uruguaiana	-	-	-	0,4	0,5
1992		Uruguaiana	0,5	0,5	-	-	-
1992		Bagé	0,6	0,6	-	-	-

Tabela 1 Anos e estações meteorológicas com índice hídrico crítico ( $IH \leq 0,6$ ) nos meses de novembro a março, período de 1971-2009, na metade sul do estado do Rio Grande do Sul. (Cont. prox. pag.)

A Tabela 1, também, mostra que os meses de dezembro e janeiro foram os que tiveram maior frequência de  $IH \leq 0,6$ .

Na metade norte do Rio Grande do Sul foram raros ou inexistentes períodos de, no mínimo, dois meses contíguos com IH igual ou menor que 0,6, com exceção de São Luiz Gonzaga, nas Missões, em que sete períodos de dois meses contíguos tiveram este índice  $\leq 0,6$  (novembro e dezembro de 1971, fevereiro e março de 1978, janeiro e fevereiro de 1980, novembro e dezembro de 1985, fevereiro e março de 1991, novembro e dezembro de 1995 e fevereiro e março de 2004).



Anos		Estações Meteorológicas	Meses				
			NOV	DEZ	JAN	FEV	MAR
1994/	1995	Santa Vitória do Palmar	-	0,5	0,5	-	-
1995		Uruguaiana	0,5	0,6	-	-	-
1995		Santa Maria	0,3	0,4	-	-	-
1995/	1996	Santa Vitória do Palmar	-	0,4	0,6	-	-
1996/	1997	Uruguaiana	0,6	0,5	0,3	-	-
1996/	1997	Bagé	-	0,5	0,4	-	-
1998/	1999	Uruguaiana	0,4	0,5	0,2	-	-
	1999	Bagé	-	-	0,5	0,5	-
1999		Uruguaiana	0,6	0,5	-	-	-
1999/	2000	Bagé	-	0,4	0,6	-	-
1999/	2000	Pelotas	-	0,6	0,3	-	-
1999/	2000	Rio Grande	-	0,5	0,2	-	-
1999/	2000	Santa Vitória do Palmar	0,4	0,3	0,3	-	-
2000/	2001	Santa Vitória do Palmar	0,5	0,5	0,6	-	-
2003/	2004	Rio Grande	-	0,5	0,3	0,3	0,2
	2004	Pelotas	-	-	0,5	0,6	0,4
	2004	Santa Vitória do Palmar	-	-	0,6	0,5	-
2004/	2005	Bagé	-	0,6	0,6	-	-
2004/	2005	Pelotas	-	0,5	0,5	-	-
2004/	2005	Porto Alegre	-	0,4	0,2	0,3	-
	2005	Uruguaiana	-	-	0,5	0,2	-
	2005	Rio Grande	-	-	0,2	0,4	-
	2005	Santa Vitória do Palmar	-	-	0,2	0,3	0,5
	2005	Santa Maria	-	-	0,4	0,5	0,4
2005		Pelotas	0,6	0,4	-	-	-
2005/	2006	Santa Vitória do Palmar	0,5	0,3	0,5	-	-
	2006	Uruguaiana	-	-	0,3	0,1	-
	2006	Encruzilhada do Sul	-	-	-	0,5	0,4
	2006	Bagé	-	-	-	0,4	0,5
2006/	2007	Santa Vitória do Palmar	0,5	0,5	0,0	-	-
2007/	2008	Bagé	-	0,5	0,3	-	-
	2008	Santa Vitória do Palmar	-	-	0,3	0,5	-
	2008	Porto Alegre	-	-	-	0,6	0,6
2008		Pelotas	0,4	0,6	-	-	-
2008		Rio Grande	0,4	0,3	-	-	-
2008/	2009	Uruguaiana	-	0,2	0,6	-	-

Tabela 1 Anos e estações meteorológicas com índice hídrico crítico ( $IH \leq 0,6$ ) nos meses de novembro a março, período de 1971-2009, na metade sul do estado do Rio Grande do Sul.

## 4 Conclusões

O IH, na média do Rio Grande do Sul, apresentou tendência de aumento na primavera; A grande maioria das estações meteorológicas apresentou sinal de tendência de aumento do IH na primavera, devido, principalmente, ao aumento da precipitação pluvial. Eventos de *El Niño* determinam elevados IH e eventos *La Niña*, baixos IH, na primavera e verão.

Na metade sul do Estado, foram observados até quatro meses com IH críticos, no período de novembro a março, de 1971-2009, indicando limitações hídricas para os cultivos de primavera-verão não irrigados. Foi observada, também, alta frequência de índices abaixo de 0,6, por dois ou mais meses consecutivos, em toda a região, principalmente, em dezembro e janeiro.

Estas informações podem servir de subsídios para os tomadores de decisão sobre o calendário agrícola, quando da previsão do *El Niño* ou *La Niña*, especialmente, para os cultivos de primavera-verão não irrigados.

## 5 Referências

- Accioly, C.V.; Srinivasan, V.S. & Ramana-Rao, T.V. 2001. Regionalização agroclimatológica para o estado de Pernambuco baseado no índice R. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 12, Fortaleza, 2001. *Anais*, Santa Maria, SBA, p. 9-10.
- Alexander, L.V.; Zhang, X.; Peterson, T.C.; Caesar, J.; Gleason, B.; Tank, A.M.K.; Haylock, M.; Collins, D.; Trewin, B.; Rahimzadeh, F.; Tagipour, A.; Kumar, K.R.; Revadekar, J.; Griffiths, G.; Vincent, L.; Stephenson, D.B.; Burn, J.; Aguilar, E.; Brunet, M.; Taylor, M.; New, M.; Zhai, P.; Rusticucci, M. & Vazquez-Aguirre, J.L. 2006. Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation. *Journal of Geophysical Research*, 111: 1-22.
- Althaus, D. & Berlato, M.A. 2007. Tendência observada das temperaturas máximas e mínimas e da amplitude térmica do estado do Rio Grande do Sul, período 1936 - 2000. In: SALÃO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 19, Porto Alegre, 2007. *Anais*, Porto Alegre, UFRGS. CD-ROM.
- Asadich, B. & Krakauer, N.Y. 2015. Global trends in extreme precipitation: climate models versus observations. *Hydrology and Earth System Sciences*, 19: 877-891.
- Ávila, A.M.H. de; Berlato, M.A.; Silva, J B. da & Fontana, D.C. 1996. Probabilidade de ocorrência de precipitação pluvial mensal igual ou maior que a evapotranspiração potencial para a estação de crescimento das culturas

- de primavera-verão no estado do Rio Grande do Sul. *Pesquisa Agropecuária Gaúcha*, 2(2): 149-154.
- Barros, V. R.; Doyle, M. E. & Camilloni, I. A. 2008. Precipitation trends in southeastern South America: relationship with ENSO phases and with low-level circulation. *Theoretical Applied Climatology*, 93(1): 19-33.
- Bergamaschi, H.; Guadagnin, M.R.; Cardoso, L.S. & Silva, M.I.G. da. 2003. *Clima da Estação Experimental da UFRGS (e Região de Abrangência)*. Porto Alegre, UFRGS, 78 p.
- Berlato, M.A. 1987. *Modelo de Relação entre o Rendimento de Grãos da Soja e o Déficit Hídrico para o estado do Rio Grande do Sul*. Programa de Pós-Graduação em Meteorologia, Instituto de Pesquisas Espaciais, INPE/MCT, Tese de Doutorado, 93p.
- Berlato, M. A. & Fontana, D. C. 2003. *El Niño e La Niña: impactos no clima, na vegetação e na agricultura do Rio Grande do Sul; aplicações de previsões climáticas na agricultura*. Porto Alegre, UFRGS, 110 p.
- Berlato, M.A.; Martins, E.J.; Cordeiro, A.P.A. & Oderich, E.H. 2007. Tendência observada da precipitação pluvial anual e estacional do estado do Rio Grande do Sul e relação com a temperatura da superfície do mar do Oceano Pacífico. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 15, Aracaju, 2007. *Anais*, Campinas, SBA. CD-ROM.
- Burman, R. & Pochop, L.O. 1994. Comparisons and example calculations. In: BURMAN, R. & POCHOP, L.O. (eds.). *Evaporation, Evapotranspiration and Climatic Data*. Elsevier, p. 191-213.
- Cordeiro, A.P.A. 2010. *Tendências climáticas das variáveis meteorológicas originais, estimadas e das derivadas do balanço hídrico seriado do Rio Grande do Sul*. Programa de Pós-graduação em Fitotecnia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Dissertação de Mestrado, 273p.
- Cordeiro, A.P.A.; Berlato, M.A.; Fontana, D.C.; Alves, R. de C.M. 2016. Tendências climáticas das temperaturas do ar no estado do Rio Grande do Sul, Sul do Brasil. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 9(3): 868-880.
- Cunha, G.R. da; Dalmago, G.A.; Nicolau, M.; Pasinato, A. 2007. Análise de tendências na temperatura do ar e na precipitação pluvial na região de Passo Fundo, RS. In: Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento online, Passo Fundo, Embrapa Trigo. p. 1 – 15. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento online, 48).
- Custódio, M. de S.; Berlato, M. A. & Fontana, D. C. 2007. Insolação no Rio Grande do Sul: Climatologia e tendência temporal. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 15, Aracaju, 2007. *Anais*, Campinas, SBA. CD-ROM.
- Custódio, M. de S.; Berlato, M.A. & Fontana, D.C. 2009. Nebulosidade diurna no Rio Grande do Sul, Brasil: Climatologia e tendência temporal. *Pesquisa Agropecuária Gaúcha*, 15(1): 45-52.
- Custódio, M. de S. 2016. Índice de nebulosidade diurna do estado do Rio Grande do Sul: climatologia e impactos do El Niño Oscilação Sul. *Ciência e Natura*, 38(1): 382-392.
- D' Angiolella, G.; Vasconcellos, V.L.D. & Rosa, J.W.C. 2005. Estimativa e espacialização do balanço hídrico na mesoregião sul da Bahia. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12, Goiânia, 2005. *Anais*, São José dos Campos, INPE p. 83-90.
- Doyle, M.E. & Barros, V.B. 2006. Trends in Southeastern South America: Relationship with ENSO Phases. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOUTHERN HEMISPHERE METEOROLOGY AND OCEANOGRAPHY (ICSHMO), 8, Foz do Iguaçu, 2006. *Proceedings*, São José dos Campos, INPE, p. 1513-1517.
- Fontana, D.C. & Almeida, T.S. 2002. Climatologia do número de dias com precipitação pluvial no estado do Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, 10(1): 135-145.
- Fontana, D.C. & Berlato, M.A. 1997. Influência do El Niño Oscilação Sul sobre a precipitação pluvial no estado do Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, 5(1): 127-132.
- Fontana, D.C. & Oliveira, D. 1996. Relação entre radiação solar global e insolação para o estado do Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, 4(1): 87-91.
- Frich, P.; Alexander, L.V.; Della-Marta, P.; Gleason, G.; Haylock, M.; Klein-Tank, A.M.G. & Peterson, T. 2002. Observed coherent changes in climatic extremes during the second half of the century. *Climate Research*, 19: 193-212.
- Hansen, J.; Nazarenco, L.; Ruedy R.; Sato, M.; Willis, J.; Genio, A. del; Koch, D.; Lacis, A.; Lo, K.; Menon, S.; Novakov, T.; Perlwitz, J.; Russel, G.; Schmidt, G.A. & Tausnev, N. 2005. Earth's energy imbalance: confirmation and implications. *Science*, 308: 1431-1435.
- Haylock, M.R.; Peterson, T.C.; Alves, L.M., Ambrizzi, T.; Anunciação, Y.M.T.; Baez, J.; Barros, V.R.; Berlato, M.A.; Bidegain, M.; Coronel, G.; Corradi, V.; Garcia, V.J.; Grimm, A.M.; Karoly, D.; Marengo, J.A.; Marino, M.B.; Moncunill, D.F.; Nechet, D.; Quintana, J.; Rebello, E.; Rusticucci, M.; Santos, J.L.; Trebejo, I. & Vincent, L.A. 2006. Trends in total and extreme South American rainfall 1960-2000 and links with sea surface temperature. *Journal of Climate*, 19(8): 1490-1512.
- IPCC. INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. 2013. Disponível em: < [https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/WGIAR5\\_SPM\\_brochure\\_en.pdf](https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/WGIAR5_SPM_brochure_en.pdf)>. Acesso em: 04 mar. 2017
- Köppen, W. 1948. *Climatologia*. Cidade do México, Fondo de Cultura Económica. 71 p.
- Leivas, J.F.; Berlato, M.A. & Fontana, D.C. 2006. Risco de deficiência hídrica decenal na metade sul do estado do Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 10(2): 397-407.
- Maluf, J.R.T. & Caiaffo, M.R.R. 2001. Regiões Ecoclimáticas do estado do Rio Grande do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 12, Fortaleza, 2001. *Anais*, Santa Maria, SBA, p. 151-152.
- Marengo, J.A. & Camargo, C.C. 2008. Surface air temperature trends in Southern Brazil for 1960-2002. *International Journal of Climatology*, 28(7): 893-904.
- Matzenauer, R. 1994. *Modelos Agrometeorológicos para estimativa do rendimento do milho em função da disponibilidade hídrica no estado do Rio Grande do Sul*. Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Tese de Doutorado, 172p.
- Matzenauer, R.; Bergamaschi, H.; Berlato, M.A.; Maluf, J.R.T.; Barni, N.A.; Bueno, A.C.; Didoné, I.A.; Anjos, C.S. dos;

- Machado, F.A. & Sampaio, M. dos R. 2002. Consumo de água e disponibilidade hídrica para milho e soja, no Rio Grande do Sul. Porto Alegre, FEPAGRO, p. 1- 99 (Boletim FEPAGRO, 10).
- NOAA. National Oceanic and Atmospheric Administration. 2017. Disponível em: <[http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml](http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml)> Acesso em: 04 ago. 2017.
- Paula, G.M. de; Streck, N.A.; Langner, J.A.; Barbosa, D.C.; Heldwein, A.B.; Ferraz, S.E.T. & Buriol, G. 2015. Série histórica secular de brilho solar e suas relações com os modos de variabilidades ENOS e ODP em Santa Maria-RS. *Engenharia Agrícola*, 35(3): 494-505.
- Penman, H.L. 1956. Evaporation: an introductory survey. *Netherlands Journal of Agricultural Science*, 4: 9-29.
- Priestley, C.H.B. & Taylor, R.J. 1972. On the assessment of surface heat flux and evaporation using large-scale parameters. *Monthly Weather Review*, 100: 81-92.
- Puchalski, L.A. 2000. *Efeitos Associados ao El Niño e La Niña na temperatura média, precipitação pluvial e no déficit hídrico no estado do Rio Grande do Sul*. Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Dissertação de Mestrado, 83p.
- Rossato, M.S. 2011. *Os climas do Rio Grande do Sul: variabilidade, tendências e tipologia*. Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Tese de Doutorado, 240p.
- Rusticucci, M. & Barrucand, M. 2004. Observed trends and changes in temperature extremes over Argentina. *Journal of Climate*, 17: 4099-4107.
- Silva, V. de P.R. & Azevedo, P.V. de. 1994. Uso do índice R na determinação da estação de cultivo e época de semeadura para a região de Campina Grande, Paraíba. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA*, 8, Fortaleza, 1994. *Anais*, Fortaleza, SBMET, p. 694-696.
- Steinmetz, S.; Wrege, M.S.; Herter, F.G. & Reisser-Júnior, C. 2007. Influência do aquecimento global sobre as temperaturas máximas, mínimas e médias anuais na região de Pelotas, RS. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA*, 15, Aracaju, 2007. *Anais*, Campinas, SBA. CD-ROM.
- Thorntwaite, C.W. & Mather, J.R. 1955. The water balance. *In: Publications in Climatology*, Centerton, Drexel Institute of Technology - Laboratory of Climatology. p. 1 – 104. (Publications in Climatology, 8).
- Vianello, R.L. & Alves, A.R. 2000. *Meteorologia Básica e Aplicações*. Viçosa, UFV. 448 p.
- Vincent, L.A.; Peterson, T.C.; Barros, V.R.; Marino, M.B.; Rusticucci, M.; Carrasco, G.; Ramirez, E.; Alves, L.M.; Ambrizzi, T.; Berlato, M.A.; Grimm, A.M.; Marengo, J.A.; Molion, L.; Moncunill, D.F.; Rebello, E.; Anunciação, Y.M.T.; Quintana, J.; Santos, J.L.; Baez, J.; Coronel, G.; Garcia, V.J.; Trebejo, I.; Bidgain, M.; Haylock, M.R. & Karoly, D. 2005. Observed trends in indices of daily temperature extremes in South America 1960-2000. *Journal of Climate*, 18: 5011-5023.
- Yao, A.Y.M. 1969. The R index for plant water requirement. *Agricultural Meteorology*, 6: 259-273.
- Wilks, D. S. 1995. *Statistical methods in the atmospheric sciences: an introduction*. New York, Academic Press. 467 p.