

## SÉRIE HISTÓRICA SECULAR DE BRILHO SOLAR E SUAS RELAÇÕES COM OS MODOS DE VARIABILIDADE ENOS E ODP EM SANTA MARIA-RS

Doi: <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agríc.v35n3p494-505/2015>

**GIZELLI M. DE PAULA<sup>1</sup>, NEREU A. STRECK<sup>2</sup>, JOSANA A. LANGNER<sup>3</sup>, DANIELE C. BARBOSA<sup>4</sup>, ARNO B. HELDWEIN<sup>5</sup>, SIMONE E. T. FERRAZ<sup>6</sup>, GALILEO BURIOL<sup>7</sup>**

**RESUMO:** Os objetivos neste trabalho foram testar a homogeneidade, recalcular a média climatológica e determinar possíveis tendências e variabilidade interanual e interdecadal na série histórica secular mensal e sazonal de brilho solar, em Santa Maria - RS. Os dados de brilho solar foram obtidos na Estação Climatológica Principal (ECP) do Instituto Nacional de Meteorologia (8<sup>o</sup> DISME), no período de 1912 a 2011. Foram usados os testes de Sequência, de Mann-Kendall e Pettitt para análise de homogeneidade e tendência, respectivamente. As séries históricas na escala mensal e sazonal são estacionárias e homogêneas, exceto para o mês de dezembro e para a estação de outono. Há variabilidade interanual e interdecadal nas séries, devido aos fenômenos El Niño-Oscilação Sul (ENOS) e da Oscilação Decadal do Pacífico (ODP), com sinal marcante da fase fria de ambos os fenômenos, que aumentam o brilho solar, principalmente nos meses de outubro e novembro (primavera).

**PALAVRAS-CHAVE:** homogeneidade, el niño-oscilação sul, oscilação decadal do pacífico, Mann-Kendall.

## RELATIONSHIP BETWEEN SECULAR-HISTORICAL SERIES OF SUNSHINE-DURATION AND ENSO AND PDO VARIABILITY MODES IN SANTA MARIA-RS, BRAZIL

**ABSTRACT:** The objectives of this study were to test homogeneity, to recalculate the climatology and to detect possible trends, interannual and interdecadal variations in seasonal and monthly secular-historical series of sunshine-duration in Santa Maria-RS, Brazil. Sunshine-duration data were measured at the meteorological station of the Brazilian National Weather Service (8<sup>o</sup> DISME/INMET), within the period of 1912 to 2011. The Mann-Kendall and Pettitt tests were used to analyze data homogeneity and trending, respectively. It was observed that monthly and seasonal secular-historical series of sunshine-duration are stationary and homogeneous, except for December and fall season. Moreover, interannual and interdecadal variability were related to the El Niño Southern Oscillation (ENSO) and the Pacific Decadal Oscillation (PDO), with signal from the cold phase of both phenomena, which increases sunshine duration mainly during spring (October and November).

**KEYWORDS:** homogeneity, el niño southern oscillation, pacific decadal oscillation, Mann-Kendall.

<sup>1</sup> Eng<sup>a</sup> Agrônoma, Prof. Doutora, Departamento de Ciências Agrômicas e Ambientais, CESNORS-UFSM /Frederico Westphalen – RS, (55) 37448964, ramal:8742, gizellidepaula@gmail.com

<sup>2</sup> Eng<sup>o</sup> Agrônomo, Prof. Doutor, Departamento de Fitotecnia, CCR-UFSM /Santa Maria – RS, nstreck2@yahoo.com.br

<sup>3</sup> Eng<sup>a</sup> Agrônoma, Mestranda em Eng<sup>a</sup> Agrícola, Departamento de Fitotecnia, CCR-UFSM /Santa Maria – RS, langnerja@gmail.com

<sup>4</sup> Eng<sup>a</sup> Florestal, Santa Maria – RS, danielcosta\_ufrsm@yahoo.com.br

<sup>5</sup> Eng<sup>o</sup> Agrônomo, Prof. Doutor, Departamento de Fitotecnia, CCR-UFSM /Santa Maria – RS, heldweinab@smail.ufrsm.br

<sup>6</sup> Física, Prof. Doutor, Departamento de Física, UFSM/Santa Maria - RS, simonette@ufrsm.br

<sup>7</sup> Eng<sup>o</sup> Agrônomo, Prof. Doutor, Centro Universitário Franciscano-UNIFRA /Santa Maria – RS, galileoburiol@yahoo.com.br

Recebido pelo Conselho Editorial em: 03-5-2012

Aprovado pelo Conselho Editorial em: 11-2-2015

## INTRODUÇÃO

O brilho solar é um importante elemento meteorológico na Agricultura, pois está relacionado com a disponibilidade de radiação solar incidente, sendo um elemento que tem forte correlação com a produtividade das culturas agrícolas e, além disso, é uma variável de entrada para modelos de estimativa da radiação solar (ESTEFANEL et al., 1990) e para modelos de simulação das culturas agrícolas (AGGARWAL et al., 2006). O brilho solar também é denominado insolação; porém, para alguns pesquisadores e estudiosos, insolação é considerado um termo inapropriado e mal traduzido, pois originou-se do termo em inglês “INSOLATION”, que é abreviatura de INcoming SOLAr radiaTION, cuja tradução mais apropriada para o português é densidade de fluxo de radiação solar global incidente. Portanto, optou-se por usar o termo brilho solar (do inglês *sunshine hours*) neste trabalho.

Nos últimos anos tem crescido o número de trabalhos envolvendo análise de séries históricas de elementos meteorológicos, devido ao aumento no interesse de responder a uma das perguntas mais realizadas no meio científico na atualidade: “O clima terrestre está mudando?”. No entanto, antes de analisar uma série histórica de variáveis meteorológicas, sua qualidade deve ser avaliada quanto ao seu preenchimento de falhas, e depois homogeneizada (BACK, 2001), existindo, para isso, métodos diretos e indiretos. O método direto consiste no estudo do histórico da estação meteorológica por meio da análise dos relatórios e registros das informações da estação, a data de mudança de local, mudança de observadores, mudança de local dos aparelhos e instrumentos, e problemas com aparelhos e instrumentos. Porém, muitas vezes, essas informações não estão disponíveis, e assim, devem-se usar métodos indiretos, entre os quais se destacam: a análise visual gráfica dos dados e a análise estatística (PETERSON et al., 1998). O teste usado e recomendado pela Organização Meteorológica Mundial (OMM) na Nota Técnica nº 81, para teste de homogeneidade, é o teste não-paramétrico de Sequência ou teste Run (MINUZZI et al., 2010).

Após o preenchimento das falhas e a análise de homogeneidade na série histórica, a tendência pode ser analisada. Considera-se que uma série histórica possui tendência quando há um acréscimo ou decréscimo nos dados da série a partir de um determinado ano (BACK, 2001). Este conceito de tendência atende às prerrogativas fundamentais usadas pelo Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC (2007), na definição de *Mudanças Climáticas*, que é qualquer mudança no clima ocorrida ao longo do tempo devido à variabilidade natural ou em decorrência da atividade humana. O teste de Mann-Kendall (MK) é um teste apropriado para analisar tendências em séries climatológicas, e permite também a detecção e a localização aproximada do ponto inicial (BACK, 2001; BLAIN, 2011). O teste de Pettitt também é um teste não paramétrico que identifica tendências e que localiza o ponto onde houve uma mudança brusca da série histórica (BACK, 2001).

Além da homogeneidade e da tendência de uma série histórica, é importante também determinar padrões de variabilidade interanual e interdecadal, pois muitas séries meteorológicas contêm sinais de fenômenos de grande escala com característica oceânico-atmosférica, como, por exemplo, o El Niño-Oscilação Sul (ENOS) (GRIMM et al., 1998), a Oscilação Decadal do Pacífico (ODP) (MANTUA et al., 1997; SOUZA et al., 2009; CERA et al., 2009) e o Gradiente Inter - Hemisférico nas anomalias de Temperatura da Superfície do Mar (ARAÚJO et al., 2013).

A série histórica de brilho solar da Estação Climatológica Principal (ECP) de Santa Maria-RS completou 100 anos em 2011, sendo oportuno, como objetivos, rever a climatologia anteriormente feita por ESTEFANEL et al. (1990), testar a homogeneidade da série, bem como identificar possíveis tendências e variabilidades nessa série, nas escalas mensal e sazonal nas escalas interanual e interdecadal.

## MATERIAL E MÉTODOS

O local de estudo foi Santa Maria-RS (latitude: 29° 43' S, longitude: 53° 42' W e altitude: 95 m). O clima da região é Cfa, segundo a Classificação de Köppen (subtropical úmido sem estação seca e com verões quentes) (HELDWEIN et al., 2009).

O brilho solar mensal acumulado no período secular (1912 a 2011) foi medido por meio de um heliógrafo do tipo Campbell-Stokes. Foram considerados dados duvidosos aqueles que apresentaram valores maiores que três desvios-padrão, e quando a planilha de anotações dos observadores meteorológicos apresentava as seguintes características: rasgada, com números ilegíveis ou apagada. Os dados faltantes e duvidosos foram preenchidos usando-se a média mensal do brilho solar, nos anos de El Niño, anos de La Niña e anos Neutros, respectivamente. Os anos de ENOS foram usados de acordo com a classificação da NOAA, agência americana que monitora a Temperatura da Superfície do Mar (TSM) na região do Niño 3.4.

Foram considerados dois períodos da série de dados: o período de 1912 a 1967, em que os registros foram feitos na ECP do Oitavo Distrito de Meteorologia (8º DISME) do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Nesse período, a ECP estava instalada em uma área de propriedade particular, que atualmente é a região urbana do município de Santa Maria e o período de 1968 a 2011, em que a ECP foi transferida para o Campo Experimental do Departamento de Fitotecnia da UFSM, aproximadamente a 10 km a leste do local anterior.

Para testar se os dois períodos poderiam ser considerados como uma única série histórica de brilho solar, foi feita a análise visual gráfica das anomalias brilho solar, calculadas com a [eq. (1)]:

$$A = (NC - M) \quad (1)$$

em que,

A - são as anomalias mensais médias de brilho solar para os períodos;

NC é a normal climatológica de cada período,

M é a média mensal de brilho solar.

Para testar a homogeneidade da série (1912 a 2011), foi usado o teste de Sequência. A hipótese nula do teste é de que a distribuição dos dados ocorre normalmente, e que a amostra é aleatória, sendo testada pela estatística Z, em nível de 5% de significância (BACK, 2001).

Para a climatologia da série, foi realizada uma estatística descritiva: média, mínimo e máximo valor absoluto, desvio-padrão (DP) e coeficiente de variação (CV) (ESTEFANEL et al., 1990).

A tendência da série foi avaliada pelo teste não paramétrico de Mann-Kendall, a 5% de probabilidade de erro tipo I (BACK, 2001; BLAIN et al., 2009). A versão original do teste de Mann-Kendall foi usada nesta análise para as séries que não apresentaram autocorrelação pelo teste de Sequência (SANSIGOLO & KAYANO, 2010), e para séries com autocorrelação serial foi usado o teste de Mann-Kendall modificado (BASISTHA et al., 2009; SHAHID, 2009). Nas séries com autocorrelação, este procedimento visou a reduzir o erro tipo I (falsa rejeição da Hipótese  $H_0$ ), que aumenta com o número de autocorrelações e, portanto, é mais apropriado em estudos de tendência (BLAIN, 2011). Usou-se também o teste de Pettitt para determinar o ponto de mudança brusca (ano) na série histórica (BACK, 2001; BLAIN, 2011).

Para detectar ciclos anuais relacionados ao fenômeno ENOS e à ODP, usou-se o método da função densidade espectral de potências calculada com o Teorema de Wiener, com defasagem (“lags”) de 80 anos. Considerou-se que os harmônicos (ciclo ou frequência das oscilações) são significativos quando os valores da densidade espectral são superiores aos valores de probabilidade de 95% pelo teste do qui-quadrado (SOUZA et al., 2009).

Para as séries de brilho solar mensal e sazonal (verão: dezembro, janeiro e fevereiro; outono: março, abril e maio; inverno: junho, julho e agosto; primavera: setembro, outubro e novembro), foram calculadas médias para as fases dos fenômenos ENOS e ODP. Os anos de ENOS foram obtidos do NOAA (2011), que se baseia nas anomalias de temperatura da superfície do mar na região do Niño 3.4 do Pacífico equatorial. Já os anos da ODP foram obtidos em JISAO (2011), e o índice OPD leva em consideração uma área maior do Pacífico, sendo a componente principal da região do Pacífico acima de 20°N até o Polo Norte e, aproximadamente, até à linha da data (meridiano 180°) (MANTUA et al., 1997). A ODP foi definida em quatro períodos: 1925–1946 (primeira fase quente da ODP), 1947–1976 (fase fria da ODP), 1977 – 1998 (segunda fase quente

da ODP) e 1999–2010 (fase fria), sendo que este último período foi incluído na análise por ter-se a expectativa de que a ODP está entrando em nova fase fria. O período anterior a 1925 não foi incluído na análise de oscilações da ODP, pois não é clara em que fase estava a ODP neste período (MANTUA et al., 1997).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Do total de dados da série histórica de brilho solar (1912 a 2011), apenas 9% dos dados foram considerados duvidosos e com falhas, sendo preenchidas essas falhas. A análise gráfica das anomalias médias mensais de brilho solar nos dois períodos, 1912-1967 e 1968-2011, indicou que ambos os períodos têm a mesma variação e magnitude ao longo do ano (Figura 1), apesar de uma diminuição do brilho solar no período 1968-2010, nos meses de junho-setembro, a qual não é significativa a ponto de comprometer toda a série. A partir destes resultados, decidiu-se considerar os dois períodos como uma série única, apesar de a estação meteorológica ter sido mudada de local.

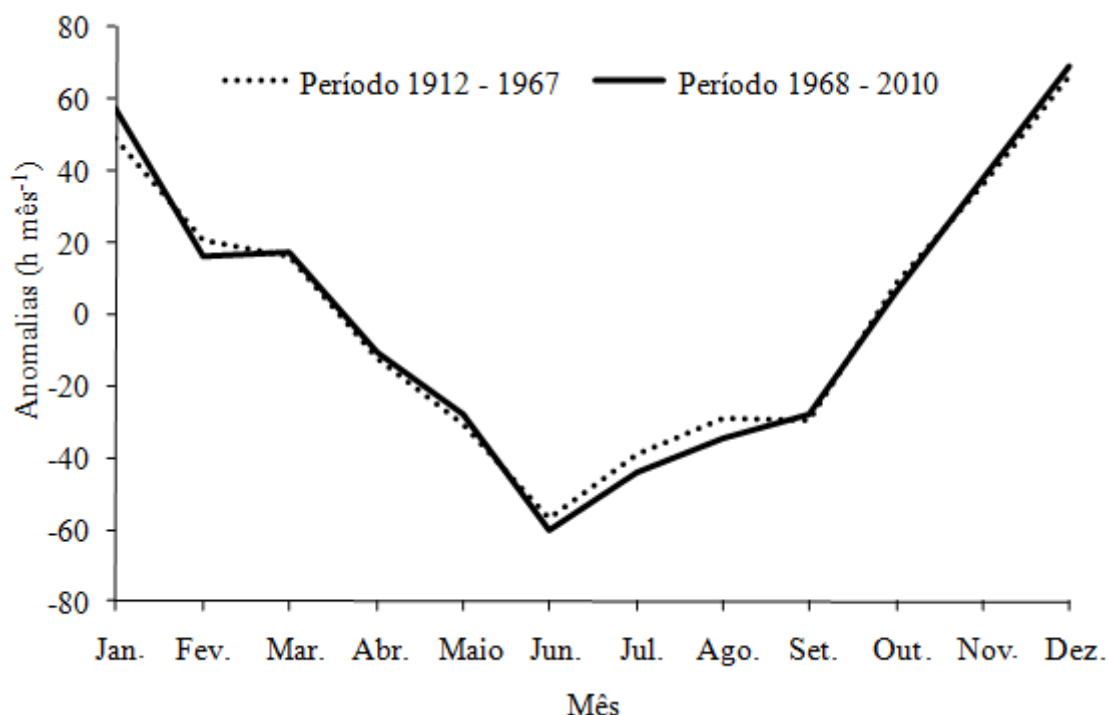


FIGURA 1. Anomalias mensais médias da diferença entre a normal climatológica de cada período e a média mensal da série histórica de brilho solar para os períodos 1912 a 1967 e 1968 a 2011, em Santa Maria-RS. **Average monthly anomalies (difference between the climatological normal of each period and the monthly mean) of the historical series of sunshine-duration for the periods of 1912-1967 and 1968-2011 in Santa Maria-RS, Brazil.**

Pelo teste de Sequência, somente a série de dados de brilho solar mensal do mês de dezembro não foi significativa (Tabela 1), indicando que a série é heterogênea e há autocorrelação na série de dados desse mês. Nos demais onze meses, a hipótese  $H_0$  não foi rejeitada, ou seja, as séries são homogêneas, e os dados são independentemente distribuídos.

Na climatologia das séries mensais de brilho solar (Tabela 2), a média mensal varia de 129,8 h mês<sup>-1</sup>, em junho, a 249,9 h mês<sup>-1</sup>, em dezembro, coincidindo com os meses de solstício de inverno e de verão, em que a duração astronômica do dia é menor e maior durante o ano no Hemisfério Sul, respectivamente. Estes resultados concordam com o que foi observado para o Estado do Rio Grande do Sul por Custódio et al. (2008), que encontraram a maior média de brilho solar no mês de dezembro (249,3 h), e a menor média, para o mês de junho (134,9 h), no período de 1960-2005.

TABELA 1. Teste de Sequência (Z), Teste Mann-Kendall ( $\tau$ ), o Teste Pettitt (K) e suas probabilidades aplicados à série histórica de brilho solar mensal e sazonal, em Santa Maria-RS, no período de 1912 a 2011. **Run (Z), Mann-Kendall ( $\tau$ ), Pettitt (K) tests and probabilities applied to monthly and seasonal sunshine-duration series in Santa Maria-RS, Brazil, for the period of 1912-2011.**

Meses/Estações do ano	Z	$\tau$	Probabilidade	K	Probabilidade
Janeiro	1,324	0,0925	0,18	606	0,1692
Fevereiro	0,304	-0,0597	0,3823	346	0,7833
Março	-0,496	0,0822	0,23	523	0,2985
Abril	-1,508	0,0179	0,7925	379	0,6817
Mai	-0,706	0,0627	0,3580	608	0,1672
Junho	0,304	0,0043	0,9494	372	0,7167
Julho	-0,908	0,0052	0,9397	228	0,9889
Agosto	-0,706	0,0035	0,9590	453	0,4781
Setembro	0,506	0,0378	0,5801	423	0,5547
Outubro	-0,706	-0,0272	0,6898	439	0,5111
Novembro	-0,660	0,0417	0,5413	436	0,5193
Dezembro	-3,333*	0,0480	0,6850	624	0,1412
Outono	-2,323*	0,0557	0,4601	585	0,1906
Inverno	-0,504	-0,0158	0,8159	362	0,7400
Primavera	-0,706	0,0008	0,9900	435	0,5231
Verão	-1,514	0,0761	0,2646	646	0,1183

\* teste não significativo a 5% de probabilidade de erro.

Para testar a variabilidade da série, foi calculado o coeficiente de variação (CV), que representa a dispersão da série de brilho solar. Na Tabela 1, observa-se que a variação foi de 13,5% (março) a 20,3% (junho), ou seja, com maior variabilidade no inverno e menor na primavera (Tabela 2). A grande variabilidade do brilho solar está diretamente ligada a fenômenos meteorológicos que atuam na região, isto é, fenômenos precipitantes são acompanhados, em geral, de grande cobertura de nuvens que afetam o brilho solar que é medido em superfície. As variações menores que ocorrem na primavera podem estar relacionadas a eventos como o El Niño Oscilação Sul, visto que Santa Maria--RS, está localizada na região sudeste da América do Sul, uma região de forte sinal do ENOS (GRIMM et al., 1998), que são responsáveis por longos períodos de chuva e consequente cobertura de nuvens. Já variações maiores ocorrem no inverno e podem ser devidas a incursões de sistemas frontais, cuja característica é alternância de “céu límpido”, antes da chegada da frente fria, e “céu nublado”, durante a passagem da frente na região.

TABELA 2. Estatísticas descritivas da série histórica de brilho solar mensal e sazonal em Santa Maria-RS, no período de 1912 a 2011. **Descriptive statistics of monthly and seasonal sunshine-duration series from Santa Maria-RS, Brazil, for the period of 1912-2011.**

Meses/ Estações do ano	Média <sup>1</sup>	Mínimo <sup>1</sup>	Máximo <sup>1</sup>	CV <sup>2</sup>	DP <sup>3</sup>
Janeiro	240,5	142,9	336,7	14,5	35,0
Fevereiro	206,5	132,7	277,5	15,1	31,1
Março	205,0	148,2	270,3	13,5	27,7
Abril	176,6	107,7	256,0	19,2	33,9
Maio	158,4	61,9	245,0	19,5	30,9
Junho	129,8	58,2	200,3	20,3	26,3
Julho	146,4	54,9	207,8	17,4	25,5
Agosto	156,8	95,8	226,0	19,1	29,9
Setembro	159,2	100,1	232,4	17,0	27,1
Outubro	195,9	111,6	268,2	16,2	31,8
Novembro	225,1	117,5	303,5	15,6	35,2
Dezembro	249,9	113,2	350,6	16,1	40,3
Verão	232,6	171,7	284,7	10,7	24,8
Outono	180,0	134,3	235,5	12,3	22,1
Inverno	144,3	94,5	182,7	12,5	18,1
Primavera	193,4	144,5	245,2	10,4	20,0

<sup>1</sup>Média, mínimo e máximo valor absoluto de brilho solar mensal (horas), <sup>2</sup>Coeficiente de variação (%), <sup>3</sup>Desvio-padrão (horas).

Para a série de brilho solar mensal de janeiro a novembro, o teste de Mann-Kendall original não identificou tendência significativa, e o teste de Pettit também não identificou mudança brusca significativa. O mesmo ocorreu para as estações de inverno, primavera e verão (Tabela 1).

Os resultados da Tabela 1 indicam que, ao longo dos 100 anos de dados de brilho solar mensal, não houve tendência de acréscimo ou de decréscimo, ou seja, as séries mensais de brilho solar em Santa Maria-RS, são estacionárias na escala mensal secular. Estes resultados divergem de resultados obtidos em outros estudos, como em Viçosa-MG, no período de 1961-2004, em que foram encontrados dois pontos de descontinuidade significativos nos meses de abril e novembro, com decréscimo do brilho solar na década de 1960, até meados da década de 1990 (MINUZZI et al., 2010). Para o Estado do Rio Grande do Sul, CUSTÓDIO et al. (2009) encontraram tendência de incremento na nebulosidade anual e para os meses de outono e verão, ou seja, uma diminuição no brilho solar. Uma hipótese para os resultados do presente trabalho não concordarem com outros trabalhos, pode estar relacionada ao período de análise das séries serem menores que 50 anos, enquanto a série deste trabalho é de 100 anos. Quando se analisam séries curtas ou se usa uma parte pequena de uma longa série de dados, pode-se detectar alguma tendência de aumento ou de diminuição naquele período. No entanto, ao se usar uma série longa, tal “tendência” de aumento/diminuição pode ser apenas parte de uma oscilação de menor frequência, nesse período longo e, portanto, uma variabilidade natural da série. Assim, quando se percebe uma tendência em uma série climatológica curta, pode-se concluir que esta série está com tendência de diminuição/aumento, mas não é aconselhável ter conclusões mais generalizadas, pois séries curtas não representam um local. Porém, não se pode descartar outras hipóteses para a discordância entre os resultados deste estudo e de outros estudos, como, por exemplo, a metodologia empregada para a homogeneização e o preenchimento dos dados.

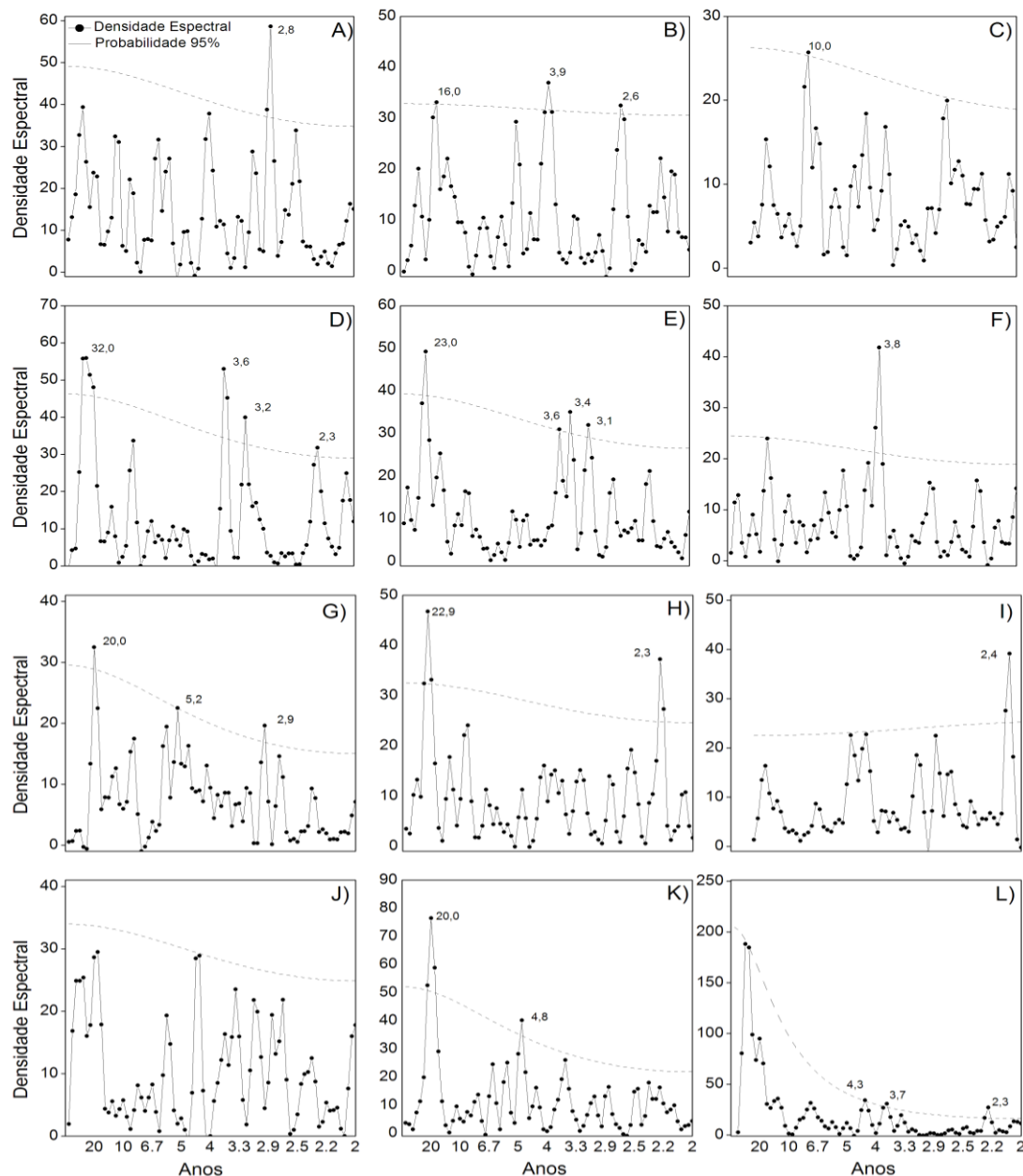


FIGURA 2. Densidade espectral de potências com defasagem (lag) de 80 anos para as séries históricas de brilho solar mensais de Santa Maria-RS, no período de 1912-2011. A linha pontilhada em cada painel indica o nível de 95% de probabilidade pelo teste qui-quadrado, ou seja, ciclos acima da linha pontilhada são significativos a 5%. (A) janeiro, (B) fevereiro, (C) março, (D) abril, (E) maio, (F) junho, (G) julho, (H) agosto, (I) setembro, (J) outubro, (K) novembro e (L) dezembro. **Power spectral density with a lag of 80 years for the historical series of monthly sunshine-duration in Santa Maria-RS, Brazil for the period of 1912-2011. The dotted line in each panel represents 95% confidence level by the chi-square test, i.e. cycles above the dotted line are significant at 5% probability. (A) January, (B) February, (C) March, (D) April, (E) May, (F) June, (G) July, (H) August, (I) September, (J) October, (K) November, (L) December.**

A análise de densidade espectral nas séries de brilho solar mensais com defasagem de 80 anos encontra-se na Figura 2. Os ciclos significativos foram 2,8 anos no mês de janeiro (Figura 2A), 2,6; 3,9 e 16 anos no mês de fevereiro (Figura 2B), de 10 anos no mês de março (Figura 2C), 2,3; 3,2; 3,6 e 32 anos no mês de abril (Figura 2D), 3,1; 3,4; 3,6 e 23 anos no mês de maio (Figura 2E), 3,8 anos no mês de junho (Figura 2F), 2,9; 5,2 e 20 anos no mês de julho (Figura 2G), 2,3 e 22,9 anos



no mês de agosto (Figura 2H), 2,4 anos no mês de setembro (Figura 2I), e 4,8 e 20 anos no mês de novembro (Figura 2K). Na escala sazonal, em todas as estações do ano, houve ciclos significativos nas escalas interanual e interdecadal (Figura 3). No outono, os ciclos significativos foram 3,6 e 22,9 anos (Figura 3A), no inverno 20 anos (Figura 3B), na primavera 3,0; 3,6; 4,3 e 20 anos (Figura 3C), e no verão 3,7 e 32 anos (Figura 3D). Pelo fato de que a periodicidade do ENOS é na escala interanual (3-7 anos) (GRIMM et al., 1998) e que a periodicidade da ODP é na escala decadal até multidecadal (20-50 anos) (CERA et al., 2009), a hipótese é que a maior parte das oscilações significativas nas séries mensais e sazonais de brilho solar, encontradas pela densidade espectral (Figuras 2 e 3), podem estar associadas a estes dois fenômenos de grande escala na Bacia do Pacífico.

Para confirmar o sinal do ENOS no brilho solar em nível mensal, em anos de La Niña, o brilho solar foi maior nos meses de abril, maio, outubro, novembro e dezembro, enquanto nos meses de janeiro, fevereiro, março, junho, agosto e setembro, o brilho solar mensal foi maior em anos de El Niño (Figura 4A). Sazonalmente, no outono, na primavera e no verão, o brilho solar foi maior nos anos de La Niña, enquanto no inverno, as diferenças foram pequenas entre as fases do ENOS, com valor um pouco maior para anos de El Niño (Figura 4C). Tanto o El Niño quanto a La Niña têm a primavera como período de máximo (GRIMM et al., 1998), mas os efeitos são contrários. Enquanto no El Niño os máximos de brilho solar irão acontecer exatamente no período de menor sinal do evento (outono e inverno), na La Niña será no período de máximo do evento (primavera). Portanto, os resultados das Figuras 4A e 4C confirmam a hipótese de que as oscilações interanuais na série histórica de brilho solar estão associadas com o ENOS. Na Figura 4C, o brilho solar médio mensal para o verão foi calculado usando-se o mês de dezembro do ano, e janeiro e fevereiro do ano seguinte. Em anos de El Niño, o brilho solar médio mensal foi menor que em anos Neutros nos meses de dezembro a fevereiro (Figura 4A). Esses resultados são diferentes dos resultados da Figura 4C, em que, em anos de El Niño, o brilho solar médio mensal foi maior que em anos Neutros para os três meses de verão (dezembro, janeiro e fevereiro), em função da metodologia de cômputo do brilho solar no verão.

Quanto à possível influência da ODP na série de brilho solar, a nível mensal, na fase quente de 1925 a 1946, o brilho solar foi geralmente menor em relação às outras três fases da ODP, em todos os meses (Figura 4B). Na fase fria de 1947 a 1976, ocorreram as maiores médias nos meses de abril, outubro e novembro (179,5; 202,8 e 232,0 h mês<sup>-1</sup>, respectivamente). Já na fase quente de 1977 a 1998, ocorreram as maiores médias mensais de brilho solar nos meses de janeiro, março, maio, junho e setembro (251,8; 215,9; 169,0; 133,2 e 165,0 h mês<sup>-1</sup>, respectivamente) e na fase fria de 1999 a 2011, os meses de maiores médias mensais foram fevereiro, agosto e dezembro (209,6; 166,0 e 258,0 h mês<sup>-1</sup>, respectivamente) (Figura 4B). Já em nível sazonal, o verão foi a estação do ano que teve maior média de horas de brilho solar para todas as fases da ODP, fase quente de 1925 a 1946 (231,3 h estação<sup>-1</sup>), fase fria de 1947 a 1976 (234,4 h estação<sup>-1</sup>), fase quente de 1977 a 1998 (236,0 h estação<sup>-1</sup>) e fase fria de 1999 a 2011 (141,0 h estação<sup>-1</sup>) (Figura 4D).



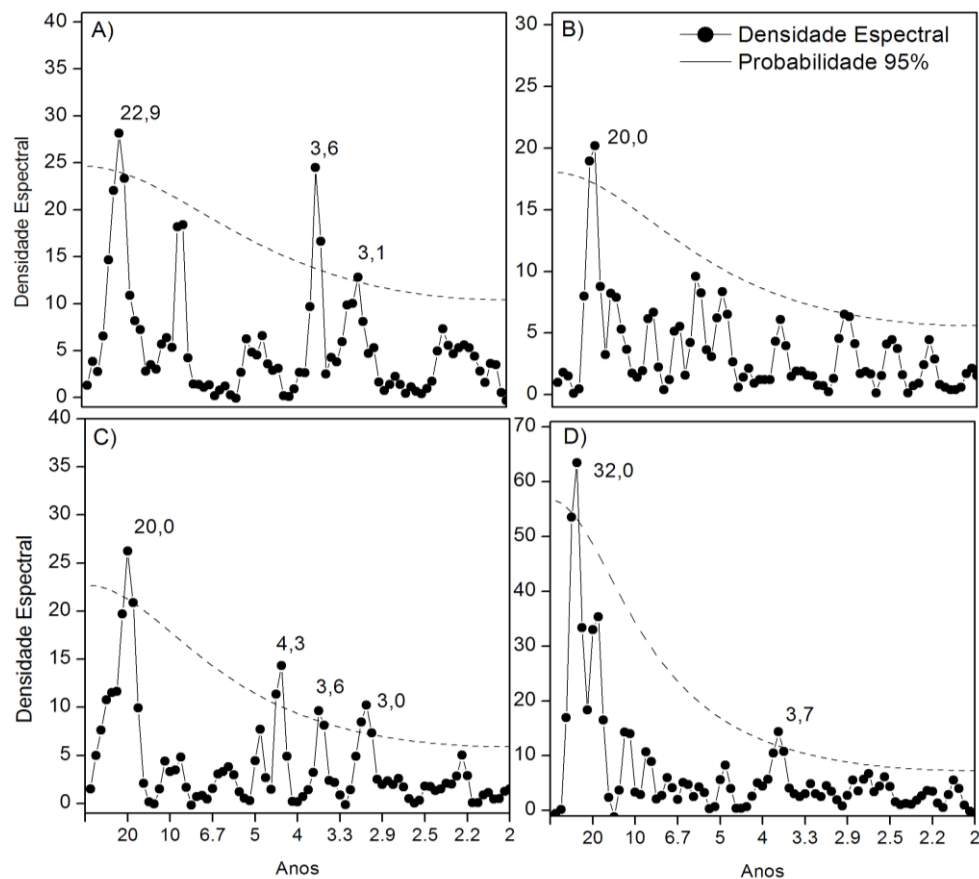


FIGURA 3. Densidade espectral de potências com defasagem (lag) de 80 anos para as séries históricas de brilho solar de Santa Maria-RS, nas estações do ano, no período de 1912-2011. A linha pontilhada em cada painel indica o nível de 95% de probabilidade pelo teste qui-quadrado, ou seja, ciclos acima da linha pontilhada são significativos a 5%. (A) Outono, (B) Inverno, (C) Primavera e (D) Verão. **Power spectral density with a lag of 80 years for the historical series of seasonal sunshine-duration in Santa Maria-RS, Brazil for the period of 1912-2011. The dotted line in each panel represents 95% confidence level by the chi-square test, i.e. cycles above the dotted line are significant at 5% probability. (A) Fall, (B) Winter, (C) Spring, (D) Summer.**

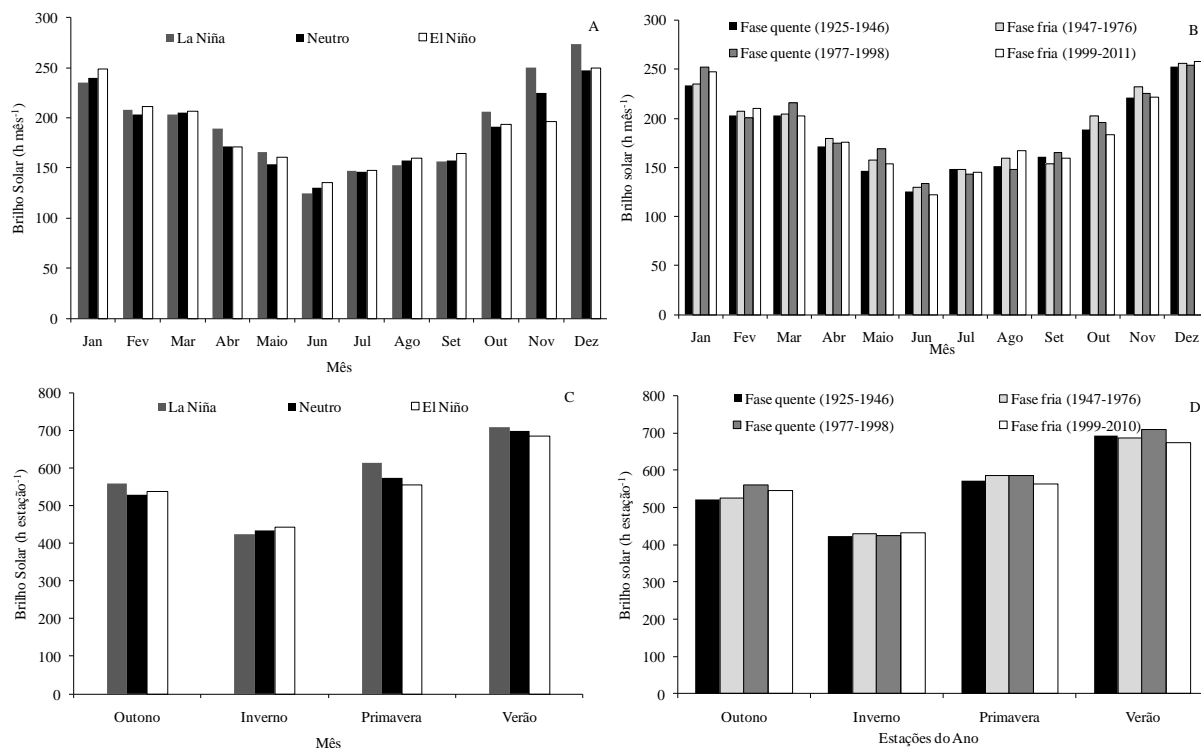


FIGURA 4. Brilho solar mensal e sazonal em anos de El Niño, La Niña em anos Neutros (A,C), e nas fases quente e fria da Oscilação Decadal do Pacífico (B,D), em Santa Maria-RS, no período de 1912-2011. **Monthly and seasonal sunshine-duration during El Niño, La Niña and Neutral years (A, C) and during warm and cold phases of the Pacific Decadal Oscillation in Santa Maria-RS, Brazil, for the period of 1912-2011.**

Durante a fase fria da ODP, os eventos de La Niña são mais intensos, e os eventos de El Niño, mais fracos, enquanto na fase quente da ODP, os eventos de La Niña são mais fracos, e os eventos de El Niño são mais intensos (GARCIA & KAYANO, 2008). Combinando-se os resultados do efeito do ENOS e da ODP em escala mensal (Figura 4A e 4B) e em escala sazonal (Figuras 4C e 4D), destacam-se os meses de abril, outubro, novembro e dezembro, e a estação de primavera em que a La Niña e a primeira fase fria da ODP acarretam maior brilho solar. Na atual fase fria da ODP (1999 a 2011), o sinal da ODP sobre o brilho solar, nos meses de outubro e novembro, e na estação da primavera, ainda não apareceu (Figura 4D), provavelmente devido ao curto período desta fase. Como o sinal da ODP sobre a precipitação do RS é similar ao do ENOS, ou seja, nas fases frias da ODP, a precipitação é menor do que durante as fases quentes, e o sinal das fases fria e quente da ODP sobre o brilho solar explica-se da mesma maneira, já que menos dias chuvosos são dias com mais brilho solar (CERA et al., 2009). Portanto, com base nas Figuras 4B e 4D, pode-se atribuir à ODP boa parte das oscilações interdecadais que aparecem na análise espectral nas Figuras 2 e 3.

Este estudo atualiza a média climatológica e a homogeneidade da série histórica de brilho solar de Santa Maria-RS, e analisa as tendências para um período mais representativo. Além disso, este estudo vem complementar outros, quanto à variabilidade de elementos meteorológicos, neste caso o brilho solar, que são influenciados por fenômenos como o ENOS e a ODP. Na agricultura, essas influências podem ser positivas ou negativas, já que ocorrem em diferentes épocas do ano. Por exemplo, na primavera, onde o sinal do ENOS é marcante (Figura 4C), a disponibilidade de brilho solar tem relação direta com o número de dias trabalháveis para as atividades de implantação das culturas de verão (semeadura, dessecação da vegetação verde em áreas de plantio direto, preparo do solo, etc.) e de colheita das culturas de inverno. Já no final do verão e início do outono (fevereiro a maio), afeta o número de dias trabalháveis para fazer a colheita, transporte de grãos das culturas de verão e atividades de implantação das culturas de inverno.

Em relação ao tema Mudança Climática, o fato de não ter havido tendência em nenhuma série mensal de brilho solar para Santa Maria-RS, pode indicar que as alterações na precipitação, no Estado do Rio Grande do Sul, durante 93 anos, de 1913 a 2006, encontradas por SANSIGOLO & KAYANO (2010), não foram significativas o suficiente para causar alterações na disponibilidade de horas de brilho solar na região de abrangência da Estação Climatológica de Santa Maria-RS.

Na série secular, houve acréscimo no brilho solar em abril, outubro e novembro, que foi durante a primeira fase fria da ODP (1947- 1976). Este período foi marcado no Estado do Rio Grande do Sul por grandes estiagens no período primavera-verão e temperaturas baixas no inverno. Durante a primeira década do século XXI, novamente o Estado do Rio Grande do Sul vem sendo afetado por períodos prolongados de estiagens e, coincidentemente, a ODP está novamente em fase negativa desde 1999, havendo assim perspectiva de continuar períodos de elevada disponibilidade de brilho solar nas décadas futuras. Existem outros fenômenos meteorológicos de mais rápida frequência que também atuam de modo a alterar a quantidade de brilho solar medido, mas que não foram verificados, porque a análise ficou restrita a dados mensais. Além disso, pela análise espectral, só se destacaram variabilidades com a frequência do ENOS e da ODP.

## CONCLUSÕES

As séries históricas mensais e sazonais de brilho solar em Santa Maria-RS, no período de 1912 a 2011, são homogêneas, exceto para o mês de dezembro e para a estação outono.

Existe variabilidade interanual e interdecadal nas séries históricas de brilho solar, com sinal do fenômeno ENOS e da ODP. É mais marcante o sinal da fase fria do ENOS, que causa maiores médias mensais de horas de brilho solar em meses de primavera (outubro e novembro), verão (dezembro) e outono (abril e maio), e o sinal da primeira fase fria da ODP (1947-1976), em que, na estação de primavera, o brilho solar é maior.

## REFERÊNCIAS

- AGGARWAL, P.K.; KALRA, N.; CHANDER, S.; PATHAK, H. InfoCrop: A dynamic simulation model for the assessment of crop yields, losses due to pests, and environmental impact of agro-ecosystems in tropical environments. I. Model description. **Agricultural Systems**, Netherlands, v. 89, p. 1-25, 2006.
- ARAÚJO, R.G.; ANDREOLI, R.V.; CANDIDO, L.A.; KAYANO, M. T.; SOUZA, R.A.F. A influência do evento El Niño - Oscilação Sul e Atlântico Equatorial na precipitação sobre as regiões norte e nordeste da América do Sul. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 43, p. 469-480, 2013.
- BACK, A.J. Aplicação de análise estatística para identificação de tendências climáticas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.36, p.717-726, 2001.
- BLAIN, G.C.; PICOLI, M.C.A.; LULU, J. Análise estatística das tendências de elevação nas séries anuais de temperatura mínima do ar no estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, v.68, p.807-815, 2009.
- BLAIN, G.C. Totais decendiais de precipitação pluvial em Campinas, SP: persistência temporal, periodicidades e tendências climáticas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.41, n.5, p. 789-795, 2011.
- BASISTHA, A.; ARYA, D.S.; GOEL, N.K. Analysis of historical changes in rainfall in the Indian Himalayas. **International Journal of Climatology**, v.29, p.555-572, 2009.
- CERA, J. C.; FERRAZ, S. E. T.; BENDER, F. D. Influência da Oscilação decadal do Pacífico e as mudanças no regime de chuva do Rio Grande do Sul. **Ciência e Natura**, Santa Maria, v. 2, p. 317-320, 2009. Número Especial.
- CUSTÓDIO, M. S.; BERLATO, M. A.; FONTANA, D. C. Impactos de El Niño Oscilação Sul no índice de nebulosidade diurna do estado do Rio Grande do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 15., 2008, São Paulo. **Anais...**

- CUSTÓDIO, M. S.; BERLATO, M. A.; FONTANA, D. C. Nebulosidade diurna no Rio Grande do Sul: Climatologia e tendência temporal. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, Porto Alegre, v.15, n.1, p.45-52, 2009.
- ESTEFANEL, V.; SCHNEIDER, F.M.; BERLATO, M.A.; BURIOL, G.A.; HELDWEIN, A. B. Insolação e radiação solar na região de Santa Maria, RS: I-Estimativa da radiação solar global incidente a partir dos dados de insolação. **Revista do Centro de Ciências Rurais**, Santa Maria, v.20, p.203-218, 1990.
- GARCIA, S.R.; KAYANO, M.T. Climatological aspects of Hadley, Walker and monsoon circulations in two phases of the Pacific Decadal Oscillation. **Theoretical and Applied Climatology**, Wien, v.91, p.117-127, 2008.
- GRIMM, A.; FERRAZ, S.E.T.; GOMES, J. Precipitation anomalies in southern Brazil associated with El Niño and La Niña events. **Journal of Climate**, Boston, v.11, p.2863-2880, 1998.
- HELDWEIN, A. B.; BURIOL, G. A.; STRECK, N. A. O clima de Santa Maria, RS. **Ciência e Ambiente**, Santa Maria, v. 38, p. 43-58, 2009.
- IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate change 2007: The physical Science Basis – Contribution of Working Group I to the Fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. United Kingdom, New York: Cambridge University, 2007. 989p.
- JISAO. **The Pacific Decadal Oscillation: PDO Index Monthly values 1900 - present**. Washington, 2010. Disponível em: <<http://jisao.washington.edu/pdo/>> Acesso em: 10 março 2011.
- MANTUA, N.J.; HARE S.R.; ZHANG, Y.; WALLACE, J.M.; FRANCIS, R.C. A Pacific interdecadal climate oscillation with impacts on salmon production. **Bulletin of the American Meteorological Society**, Boston, v.78, p.1069-1079, 1997.
- MINUZZI, R. B. VIANELLO, R. L. SEDIYAMA, G. C. Oscilações climáticas em Minas Gerais. **Revista Brasileira de Meteorologia**, Rio de Janeiro, v. 25, p. 227-236, 2010.
- NOAA. **ENSO: Cold and warm episodes by season**. Washington: National Oceanic and Atmospheric Administration, 2009. Disponível em: <[http://www.cpc.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/insostuff/ensoyears.shtml](http://www.cpc.noaa.gov/products/analysis_monitoring/insostuff/ensoyears.shtml)>. Acesso em: 20 jun. 2011.
- PETERSON, T.; EASTERLING, D.; KARL T.; GROISMAN, P.; PLUMMER, N.; NICHOLLS, N.; TOROK, S.; AUER, I.; BOEHM, R.; GULLET, D.; VINCENT, L.; HEINO, R.; TUOMENVIRTA, H.; MESTRE, O.; SZENTIMREY, T.; SALINGER, J.; FORLAND, E.; HANSSEN-BAUER, I.; ALEXANDERSSON, H.; JONES, P.; PARKER, D. Homogeneity adjustments of in situ atmospheric climate data: a review. **International Journal of Climatology**, Chichester, v. 18, p. 1493–1517, 1998.
- SANSIGOLO, C.; KAYANO, M. T. Trends of seasonal maximum and minimum temperatures and precipitation in Southern Brazil for the 1913-2006 period. **Theoretical and Applied Climatology**, Wien, v. 101, p. 209-216, 2010.
- SHAHID, S. Rainfall variability and the trends of wet and dry periods in Bangladesh. **International Journal of Climatology**, Chichester, v.29, p.573-587, 2009.
- SOUZA, M.A.; GEORGEN, R.; FERRAZ, S.E.T. Previsão de precipitação e temperatura em Santa Maria por meio de um modelo estatístico. **Ciência e Natura**, Santa Maria, v.31, p.49-64, 2009.