Revista Brasileira de Climatologia
ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

METODOLOGIA DE IMPUTAÇÃO DE DADOS HIDROMETEOROLÓGICOS PARA ANÁLISE DE SÉRIES HISTÓRICAS – BACIA DO RIO DOS SINOS, RS, BRASIL

VIEIRA, Sabrina Antunes - sazinha.93@gmail.com
Universidade Feevale

OSORIO, Daniela Montanari Migliavacca - danielaosorio@feevale.com
Universidade Feevale

QUEVEDO, Daniela Muller de - danielaMQ@feevale.com
Universidade Feevale

ADAM, Katiucia Nascimento - katiucia@feevale.com
Universidade Feevale

PEREIRA, Marco Alesio Figueiredo - marco@feevale.com
Universidade Feevale

RESUMO: O conhecimento de dados hidrometeorológicos de uma bacia hidrográfica é de fundamental importância para o planejamento e gestão da mesma, possibilitando a previsão hidrológica e climatológica, assim como a identificação de alterações que possam estar ocorrendo. Para isso são necessárias longas séries de dados que, na maioria das vezes, possuem falhas que devem ser preenchidas para a aplicação das variáveis hidrometeorológicas. Existem diversos métodos de correção de falhas, entretanto a maioria depende de uma estação próxima com dados disponíveis para correlação. O objetivo desta pesquisa foi buscar uma metodologia de imputação de dados hidrometeorológicos, a fim de realizar uma análise das séries históricas e estimar variações na vazão, precipitação e temperatura da bacia hidrográfica do Rio dos Sinos. Para tanto, foram coletados dados de séries históricas de precipitação total mensal, vazão e temperatura máxima mensal entre os anos de 1985 a 2015, analisando-os estatisticamente para buscar a melhor forma de imputação de dados faltantes para, após, avaliar alterações nos padrões históricos através de análises gráficas e comparação com as normais climatológicas. Conseguiu-se aplicar uma metodologia simples que satisfez o preenchimento dos dados faltantes, não alterando as propriedades da série e verificou-se uma tendência de aumento nas variáveis de temperatura e precipitação para a região em estudo.

PALAVRAS-CHAVE: Bacia hidrográfica. Correção de falhas. Séries históricas.

METHODOLOGY OF HYDROMETEOROLOGICAL DATA IMPUTATION FOR ANALYSIS OF HISTORICAL SERIES – SINOS RIVER WATERSHED, RS, BRAZIL

ABSTRACT: The knowledge of hydrometeorological data of a watershed is of fundamental importance for the planning and management of the same, enabling the hydrological and climatological forecast, as well as the identification of changes that may be occurring. For this, long series of data are necessary, which, for the most part, have flaws that must be fulfilled for the application of hydrometeorological variables. There are several methods of fault correction, however, most of them depend on a nearby station with data available for correlation. The objective of this research was to search for a methodology of imputation of hydrometeorological data, in order to carry out an analysis of the historical series and to estimate variations in the flow, precipitation and temperature of the Sinos River watershed. For that, data were collected from historical series of monthly total precipitation, flow and maximum monthly temperature between 1985 and 2015, analyzing them statistically to find the best way to impute missing data

to, after, to evaluate changes in historical patterns through graphic analysis and comparison with normal climatological. It was possible to apply a simple methodology that satisfied the filling of the missing data, not altering the properties of the series and there was a tendency of increase in the variables of temperature and precipitation for the region under study.

KEYWORDS: Watershed. Fault correction. Historical series

1.INTRODUÇÃO

O uso de dados hidrometeorológicos é essencial para o planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos. A partir destes dados, geralmente organizados em séries temporais, pode-se estimar índices e posteriormente indicadores de tendências, nos quais os gestores poderão se basear para definir melhor a tomada de decisão. A Legislação brasileira reconhece a importância do monitoramento de dados, incluindo como instrumento da Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei Federal 9.433/97) o Sistema de Informações de Recursos Hídricos (DETZEL et al., 2013). A Agência Nacional das Águas (ANA) fornece dados de séries históricas de diversas estações espalhadas pelas bacias do Brasil em um site próprio denominado Sistema Nacional de Informações para Recursos Hídricos (http://www.snirh.gov.br/), a fim de facilitar estudos, projetos e planejamentos, além de realizar o monitoramento de eventos críticos.

Caldeira et al. (2011) afirma ser comum encontrar séries que possuem ausência de dados em um determinado período de tempo, que se denomina falha. A presença dessas falhas pode levar a análises errôneas, tendenciosas, comprometendo os resultados, e consequentemente podendo prejudicar o planejamento adequado das bacias hidrográficas. Necessita-se assim, de adoção de procedimentos estatísticos para realizar o preenchimento destas lacunas. Estas lacunas ocorrem, principalmente, devido a problemas nos aparelhos de registro ou com o operador do posto. Os métodos estatísticos mais usuais são o Método de Ponderação Regional, Método de Regressão Linear, Regressão Múltipla e Regressão Potencial (OLIVEIRA et al., 2010). Na literatura também se apresenta outras formas de preenchimento de falhas, podendo-se exemplificar a utilização de Redes Neurais (DEPINÉ et al., 2014; LUCIO et al., 2006); ou então metodologias geoestatísticas como a Krigagem (WANDERLEY et al., 2012; HABERLANDT, 2007).

Somente com uma série histórica longa se pode inferir mudanças no comportamento de uma determinada variável, dentre elas estão as mudanças hidroclimáticas, que necessitam de longas séries históricas de dados, os quais muitas vezes não encontram-se completas em bacias hidrográficas.

Com o aumento da temperatura previsto devido às mudanças climáticas, os impactos serão sentidos em todo o mundo, tendo implicações profundas para a população, trazendo consequências sociais e econômicas (MARENGO et al., 2011). Algumas consequências já foram notadas, como o aumento do derretimento de geleiras nos polos e o aumento no nível do mar em um século (MARENGO, 2006). De acordo com Dangendorf et al. (2017), a taxa de aumento do nível do mar foi de 3,1 mm por ano entre 1993 e 2012, enquanto que, nos anos anteriores, a taxa era de 1,1 mm.

Desta forma, mostra-se a importância em entender como as mudanças do clima poderão impactar a vida no planeta. Os resultados do quarto relatório publicado pelo Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC)

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

alertam para o aumento médio global das temperaturas entre 1,8ºC e 4,0ºC até 2100. Esse aumento pode ser ainda maior se a população e a economia continuarem crescendo rapidamente e se for mantido o consumo intenso dos combustíveis fósseis.

Apesar de a disponibilidade dos recursos hídricos ser afetada também pela intensa urbanização, uso e ocupação do solo e o desmatamento, os eventos climáticos certamente acentuam todos esses problemas, ocasionando enchentes que trazem grandes danos econômicos e perdas de vida, e também secas que prejudicam tanto a agricultura, o abastecimento humano e a geração de energia hidroelétrica (MARENGO, 2008).

Com o desenvolvimento urbano, a demanda de água aumenta, fazendo com que muitas pessoas acabem não tendo acesso a esse recurso, e recorrendo a águas de baixa qualidade. Neste quadro de mudanças climáticas e recursos hídricos, percebe-se que poderá haver alteração na disponibilidade da mesma, assim como mudanças na demanda e na qualidade de água disponível (WILSON, 2007).

Para Marcos et al. (2010) a projeção futura não é nada otimista, pois há tendência de aumento da demanda de água para produção de alimentos, consumo doméstico e atividades industriais, sendo que esta demanda já tem sido afetada pelas mudanças climáticas, o que pode resultar em conflitos para o uso deste recurso. Para o autor, o desafio para os gestores públicos e para a sociedade é de praticar ações que visem minimizar os impactos das mudanças climáticas sobre os recursos hídricos e não apenas controlar e restringir o uso da água.

Isto posto, o objetivo desta pesquisa foi buscar uma metodologia para a imputação de dados faltantes em série histórica de dados hidrometeorológicos, afim de estimar as variações na vazão, temperatura e precipitação da bacia hidrográfica do Rio dos Sinos, RS, Brasil. As séries utilizadas neste estudo são de temperatura, vazão e precipitação em dados mensais no período de jan/85 a dez/15. Os dados foram obtidos em estações hidrometeorológicas localizadas na Região Metropolitana de Porto Alegre, RS.

2.MATERIAIS E MÉTODOS

2.1LOCAL DE ESTUDO

O estudo foi realizado na bacia hidrográfica do Rio dos Sinos (Figura 1), situada no nordeste do Estado do Rio Grande do Sul, pertencente a região hidrográfica do Guaíba. A Bacia possui uma área de 3.746,68 km², abrangendo 32 municípios, dentre eles Novo Hamburgo, Campo Bom, Canoas, Igrejinha, São Leopoldo, Sapucaia do Sul, Taquara e Três Coroas, atendendo uma população de aproximadamente 1.249.100 habitantes. Os principais usos da água na bacia são para abastecimento público, uso industrial e irrigação. Esta bacia tem como principal problema o lançamento de esgotos domésticos sem tratamento prévio diretamente nos corpos d'água (SEADES, 2010).

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

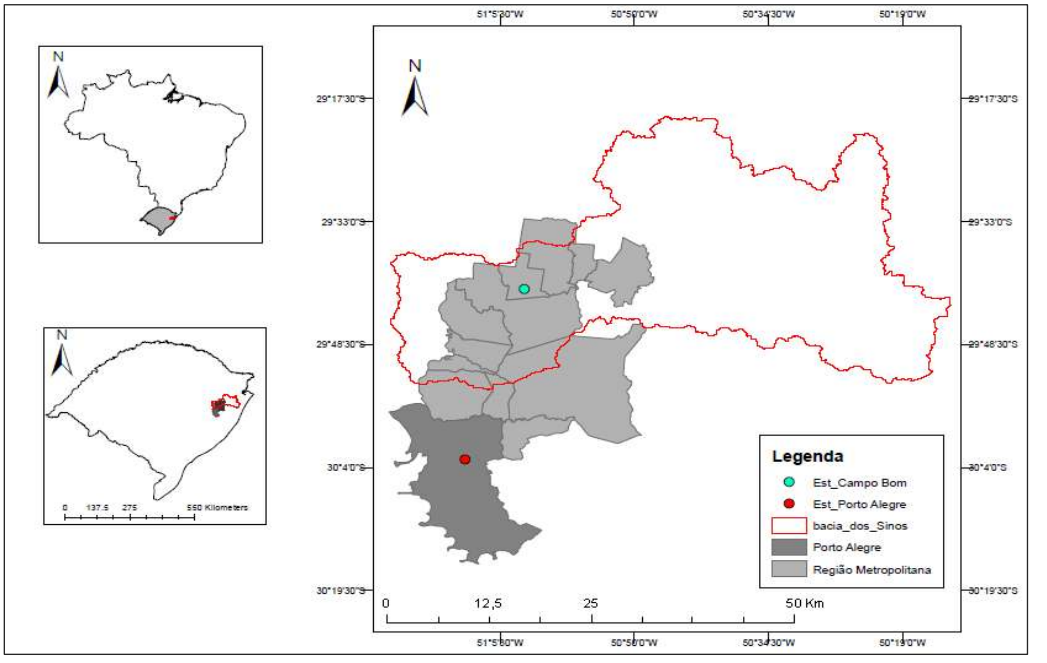


Figura 1 – Localização do estado do Rio Grande do Sul (a), da bacia do Rio dos Sinos (b) e espacialização das estações utilizadas (c).

2.2 METODOLOGIA

A Figura 2 apresenta o fluxograma metodológico empregado na pesquisa. As etapas serão discutidas separadamente abaixo.

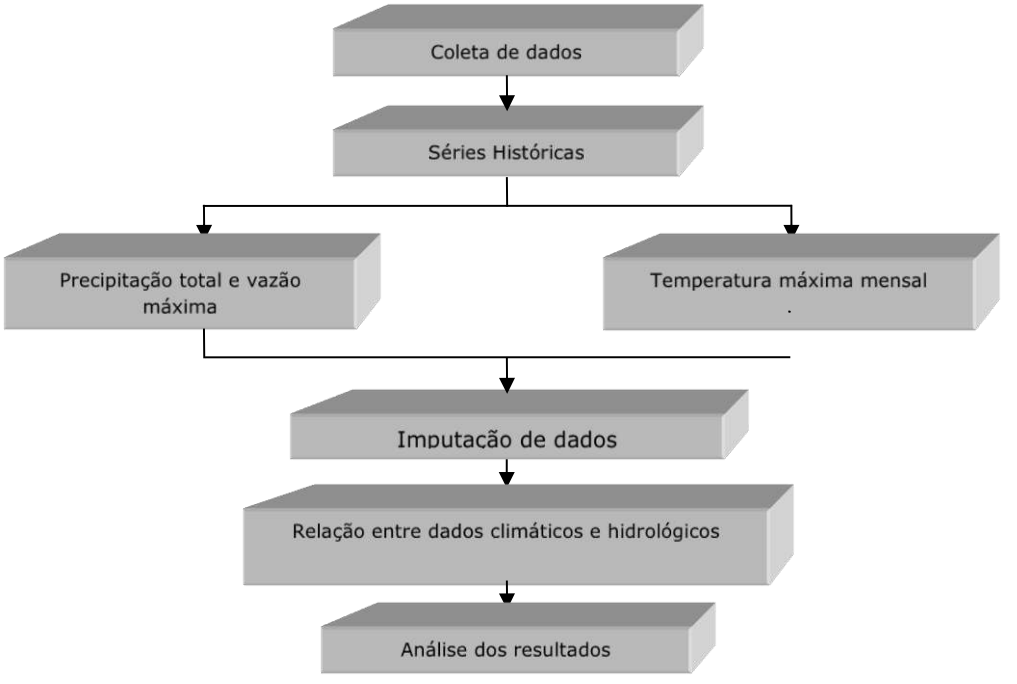


Figura 2 – Fluxograma de Delineamento de Pesquisa

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

Conforme demonstrado no fluxograma, a metodologia consistiu nas seguintes etapas:

2.2.1 AQUISIÇÃO DOS DADOS HIDROMETEOROLÓGICOS

Foram adquiridos dados de precipitação total mensal, vazão máxima mensal e temperatura máxima média mensal para as estações de medição que apresentaram dados no período pretendido, sendo este num intervalo mínimo de 30 anos, pois, conforme recomendações da Organização Meteorológica Mundial (OMM), para estudos climáticos devem ser utilizadas séries de, no mínimo, 30 anos.

Os dados de precipitação e vazão foram obtidos no site da Agência Nacional de Águas – ANA. Como suporte para a visualização e tabulação dos dados utilizou-se o software Hidro 1.2. Foram selecionados os dados de estações hidrológicas localizadas no município de Campo Bom-RS, pois estas foram as únicas estações que possuíam os dados de vazão (estação fluviométrica, código 87380000) e precipitação (estação pluviométrica, código 02951069) na bacia do Rio dos Sinos para o tempo determinado.

Os dados de temperatura máxima média mensal foram obtidos na estação meteorológica do INMET (Estação Porto Alegre – A801 - Código OMM 86988) de Porto Alegre. O período avaliado foi de 31 anos, de janeiro de 1985 a dezembro de 2015.

Não foi possível utilizar os dados da estação Campo Bom (Estação Campo Bom-A884 - Código OMM: 86991 - 23 metros de altitude) para os dados de temperatura, pois esta estação iniciou seu funcionamento em novembro de 2013. Desta forma, utilizou-se a estação meteorológica de Porto Alegre (Código OMM 86988), que se localiza 25 metros a mais de altitude em relação à estação de Campo Bom, para compor a série de dados de temperatura máxima média, sendo que para cada 100 metros a mais de altitude tem-se uma diminuição na temperatura na ordem de 0,65 ºC (SELLERS, 1974).

A Tabela 1 apresenta o código de cada estação utilizada com seus respectivos nomes, municípios, coordenadas geográficas, altitudes, séries históricas e informação do dado hidrometeorológico adquirido.

Tabela 1 – Descrição das estações hidrometeorológicas utilizadas.

Nome	Código	Município	Latitude Sul	Longitude Oeste	Altitude (m)	Série histórica	Dado
Porto Alegre	OMM86988	Porto Alegre	30º03’00”	51º09’36”	46,97	01/01/85 - 31/12/15	Temperatura máxima média
Campo Bom	87380000	Campo Bom	29º41’31”	51º02’42”	12	01/01/85 - 31/12/15	Vazão máxima
Campo Bom	02951069	Campo Bom	29º41’00”	51º02’00”	26	01/01/85 - 31/12/15	Precipitação total

2.2.2 ANÁLISE, SELEÇÃO E IMPUTAÇÃO DOS DADOS:

Após análise dos dados constatou-se períodos de falhas na série de temperatura nos três primeiros anos (1985 a 1987) e em nove meses do ano de

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

2001. Com isto, foram realizadas diversas análises com o intuito de realizar a imputação dos dados faltantes. Para tanto, foram avaliadas outras estações meteorológicas próximas (Encruzilhada do Sul, Santa Maria, Caxias do Sul, Bento Gonçalves, Torres), mas nenhuma destas apresenta dados para o período estudado.

Os métodos usuais de Ponderação Regional e Regressão Linear não foram possíveis de se utilizar, pois não haviam outras estações próximas que continham dados para o período desejado, sendo que todas possuíam a mesma falha. Também não haviam dados de umidade relativa ou de algum outro parâmetro que se correlacionasse com a temperatura para utilizar o Método de Regressão Linear. Igualmente, muitos modelos de previsão, como modelos ARIMA e GARCH, que realizam estimativas com os dados da própria série, exigem que as séries estimadas sejam longas e sem dados faltantes (MORETTIN & TOLOI, 2006). No caso da temperatura isto não foi possível, pois existe uma longa falha de dados no início da série, sendo a quantidade de informações anteriores a esta insuficiente para uma modelagem.

Portanto, no intuito de preencher estas falhas, primeiramente realizou-se uma análise estatística descritiva básica, para determinar valores médio, máximos, mínimos, desvio padrão e gráficos box-plot. Em seguida os dados faltantes foram estimados através da regressão linear múltipla (representada pela Eq. 1) considerando como variável dependente a temperatura e variáveis independentes a vazão e a precipitação. O método aplicado na regressão foi o Stepwise para seleção das variáveis do modelo e Durbin-Watson para independência dos resíduos. Como opção simplificada para preenchimento das falhas os valores faltantes foram substituídos pelas médias de cada mês da série histórica.

$$y = \alpha_0 + \sum_{y=n}^{n} \alpha_i x_i \qquad (1)$$

Onde y é a variável dependente; x_i a variável independente; e α_0 e α_i coeficientes de ajuste do modelo linear (a estimar).

Para verificar se as séries ajustadas pela regressão múltipla e pelas médias mensais mantiveram as principais propriedades, foi realizada a comparação entre estas através da estatística descritiva, correlação de Spearman e identificação da sazonalidade, que é característica destes dados, através da Função de Autocorrelação, representada pela Eq. 2. Para inferência estatística foi considerando um nível de significância de 5%, utilizando-se o software IBM SPSS Statistics V24 e Minitab.

$$\hat{\rho}_k = \frac{\sum_{t=1}^{n-k}(z_t-\bar{z})(z_{t+k}-\bar{z})}{\sum_{t=1}^{n}(z_t-\bar{z})^2} \qquad (2)$$

Onde $\hat{\rho}_k$é o coeficiente de autocorrelação na defasagem K; z_t o conjunto de dados classificados por data ascendente; z_{t+k} o mesmo conjunto anterior, mas deslocado por k unidades; e $\bar{z}$ a média do conjunto de dados original.

Para os dados faltantes de vazão, que consistiam em poucos meses e esparsos, foi realizada uma média móvel, utilizando-se da média dos dados de vazão dos três meses anteriores e posteriores da falha, e assim realizar o preenchimento da falha com o valor médio, conforme Eq. 3 (GENÇAY, 1996).

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

$$\bar{X} = \frac{\sum_{k=i-\frac{n}{2}}^{i-1} X_k + \sum_{j=i+1}^{i+\frac{n}{2}} X_j}{n} \qquad (3)$$

Onde $\bar{X}$é o valor médio; X_k o conjunto de dados anteriores a falha; X_j o conjunto de dados posteriores a falha; e n o valor total de dados do conjunto.

2.2.3 RELAÇÃO ENTRE OS DADOS METEOROLÓGICOS E HIDROLÓGICOS:

As séries inicialmente foram avaliadas através da estatística descritiva e posteriormente os dados foram relacionados estatisticamente através da análise de correlação de Spearman e variância (utilizando-se ANOVA no SPSS), além da criação de gráficos termopluviométricos para comparação com as normais climatológicas de Porto Alegre, obtidas pelo INMET, verificando se houve alterações nos padrões normais de precipitação e temperatura na bacia hidrográfica do Rio dos Sinos.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 PREENCHIMENTO DE FALHAS

Para preencher os valores de temperatura faltantes aplicou-se a regressão linear múltipla, sendo utilizada as séries de precipitação e vazão que estão relacionadas a temperatura. O modelo de regressão multivariado apresentou coeficientes significativos através da ANOVA (F=37,009; p<0,01) com R=0,425. Os coeficientes do modelo são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Coeficientes do modelo de regressão múltipla

Modelo	Coeficientes não padronizados		Coeficientes padronizados		
	B	Erro Padrão	Beta	t	Significância
(Constante)	26,495	0,453		58,498	0,000
Vazão	-0,015	0,002	-0,511	-8,247	0,000
Precipitação	0,011	0,004	0,188	3,037	0,003

* Variável Dependente: Temperatura

Utilizando o modelo de regressão linear múltipla foi possível completar os dados faltantes da série de temperatura máxima. Para tanto, baseando-se na Eq. 1, substituíram-se os coeficientes encontrados chegando-se a Eq. 4, que foi a equação do modelo utilizado para o conjunto de dados avaliados.

$$Y_t = 0{,}011X_p - 0{,}015X_v + 26{,}495 \qquad (4)$$

Onde Y_t é a variável dependente temperatura; X_p a variável independente precipitação; e X_v a variável independente vazão.

Foi possível verificar que os dados estimados acompanham o movimento da série, mas com uma menor amplitude, replicando com maior precisão os

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

eventos de menor temperatura do que os maiores (Figura 3). Uma segunda opção para completar os dados faltantes da série foi substituir os valores de meses faltantes pela respectiva média mensal, calculada com os dados da própria série de temperatura. A Figura 3 apresenta a série de temperatura máxima e os dados estimados através da regressão linear múltipla e das médias mensais.

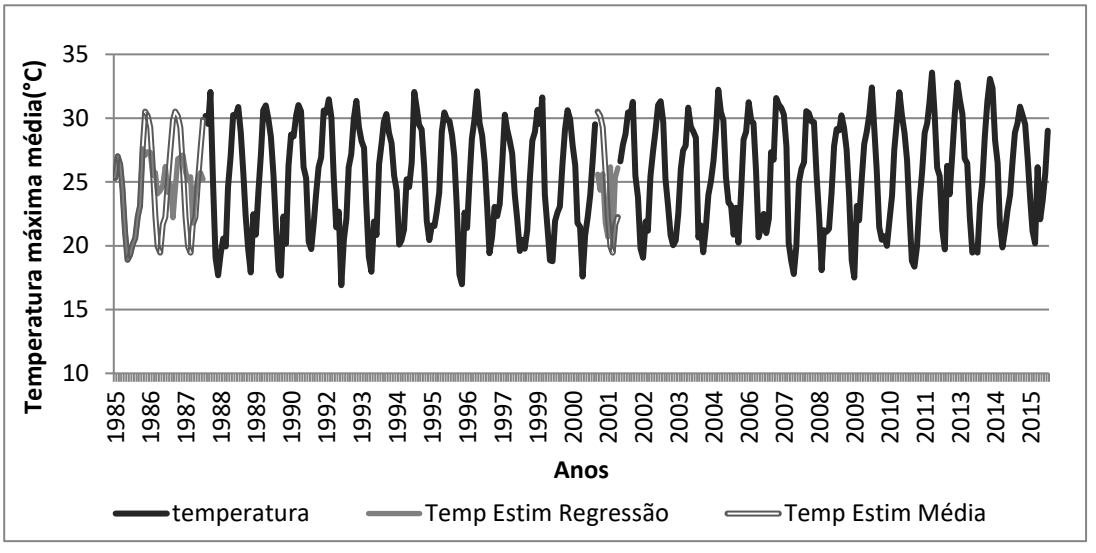


Figura 3 – Série temporal da temperatura máxima média com inclusão dos dados estimados dos métodos de imputação, de 1985 a 2015.

Quando a imputação de dados faltantes é realizada em uma série, é importante que a inserção destas estimativas não altere as suas principais características como variabilidade, movimentos sazonais e correlações com outras séries de dados no qual se deseja realizar associações. Para isto foram comparadas estas propriedades considerando a série original e as séries completas com as estimativas da regressão múltipla e estimativas das médias mensais. A primeira comparação foi realizada através da estatística descritiva das séries (Tabela 3). Através desta comparação é possível identificar que as estatísticas descritivas da série de temperatura máxima foram preservadas, tanto para a série com inserção de dados da regressão linear múltipla, quanto pelas estimativas de médias mensais, pois tanto a média como o desvio padrão não tiveram uma variação significativa.

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

Tabela 3 - Estatística descritiva da série de temperatura máxima antes e após imputação dos dados.

Séries	N	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão
Temperatura	339	16,91	33,57	25,36	4,17
Temp. Estimativa Média	372	16,91	33,57	25,34	4,16
Temp. Estimativa Regressão	372	16,91	33,57	25,32	4,02

A correlação entre as séries de temperatura, vazão e precipitação também é preservada para as séries com dados imputados, de acordo com os valores de correlação apresentados na Tabela 4, demonstrando que, tanto a estimativa por meio da Média mensal simples como pela Regressão linear múltipla, mantiveram os coeficientes de correlação próximos aos apresentados anteriormente à imputação de dados.

Tabela 4 - Matriz de correlação de Spearman.

Correlação (R)	Temperatura máxima	Estimativa Média	Estimativa Regressão	Vazão	Precipitação
Temperatura	1				
Temp. Estimativa Média	1,000**	1			
Temp. Estimativa Regressão	1,000**	0,960**	1		
Vazão	-0,416**	-0,411**	-0,431**	1	
Precipitação	-0,103*	-0,110*	-0,116*	0,642**	1

*correlação nível de significância de 0,05; ** correlação nível de significância de 0,01

Outra característica importante observada em dados hidrometeorológicos é a presença de uma sazonalidade bem marcada. A sazonalidade de uma série pode ser identificada através da Função de Autocorrelação da série. A autocorrelação das séries de temperatura com dados imputados pelo método de regressão linear múltipla e pelo método das médias mensais são apresentadas na Figura 5. Para ambas as séries é possível perceber a sazonalidade com período de 12 meses, que é característico de séries de temperaturas, e que não foram afetadas pela imputação de dados.

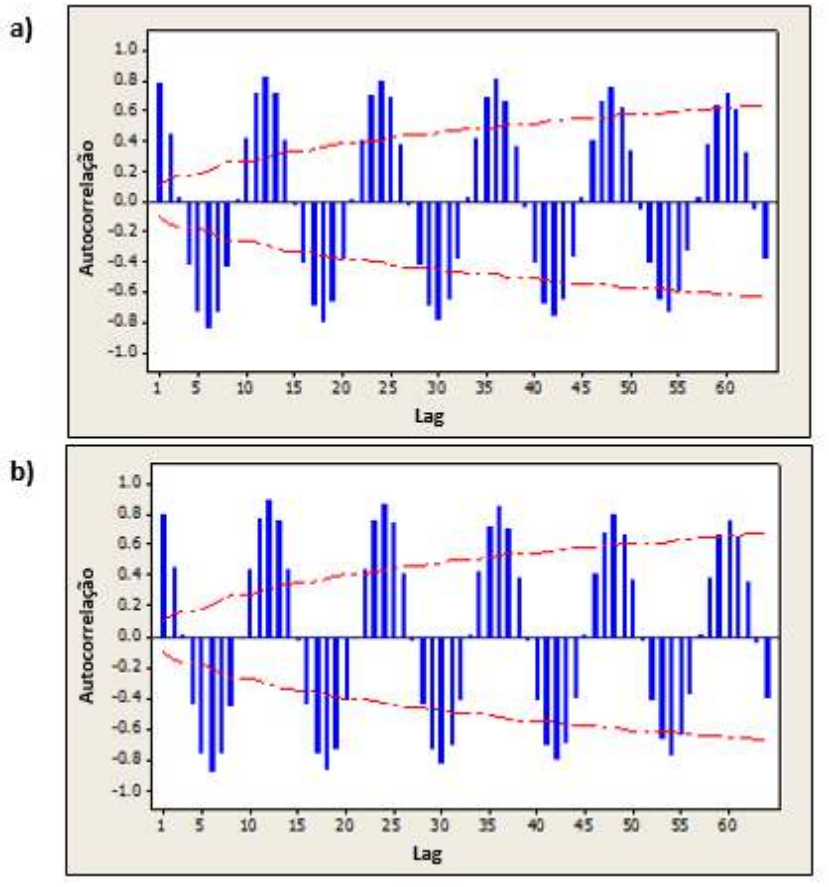


Figura 5 – Função de Autocorrelação da série de temperatura máxima média com dados imputados pelo método de regressão linear múltipla (a) e pelo método das médias mensais (b).

Comparando os dois métodos de imputação de dados observa-se que ambos preservam a estrutura e as características das séries originais. Ambos os métodos, tanto a regressão linear múltipla como a média simples, mostraram-se eficientes em completar a série, mas é importante ressaltar que estes métodos poderão ser aplicados para conjunto de dados que não apresentam mais do que 15 % de falhas (HARRELL, 2001).

De acordo com Ventura et al. (2016), pode-se utilizar com precisão os métodos de média simples e regressão linear múltipla para preenchimento de falhas em dados climatológicos, apresentando ótimo desempenho tanto em 5% como em 30% de falhas em dados de temperatura, principalmente comparando-se com os métodos de regressão linear simples e média móvel.

Apesar dos dois métodos apresentarem-se satisfatórios, nesta pesquisa optou-se por utilizar o método de regressão linear múltipla para completar a série de temperatura, pois com o método de média mensal simples os valores se repetiriam nos três primeiros anos da série e no ano de 2001, o que não ocorre com o método de regressão linear múltipla.

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

3.2 RELAÇÃO ENTRE OS DADOS HIDROMETEOROLÓGICOS

Estatisticamente, as correlações entre os dados hidrometeorológicos estão apresentados na Tabela 5. Através destes valores observamos que há uma correlação não muito forte entre os dados de temperatura e precipitação, porém a correlação apresentou significância. Houve também uma forte correlação entre os valores de precipitação e vazão e entre a vazão e a temperatura.

Tabela 5 - Correlação entre os dados hidrometeorológicos.

Séries	Temperatura máxima	Vazão	Precipitação
Vazão	-0,431**	1	-
Precipitação	-0,116*	0,642**	1

*correlação nível de significância de 0,05; ** correlação nível de significância de 0,01

O comportamento das variáveis está apresentado nas Figuras 6, 7 e 8. Na Figura 6 apresenta-se o comportamento da variável temperatura para os anos de 1985 a 2015. Verifica-se na série histórica avaliada um aumento médio aproximado de 1 ºC, no período de 31 anos, baseando-se na equação de tendência dos dados.

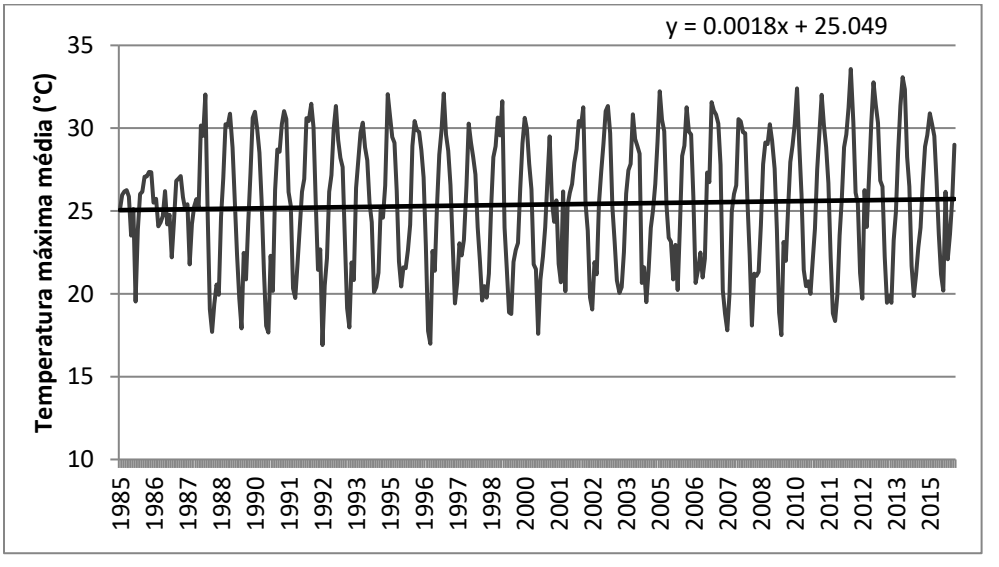


Figura 6 – Variação temporal da temperatura máxima média entre os anos de 1985 a 2015.

Para Teodoro e Amorim (2008) de fato, a temperatura média global tem aumentando desde o final do século XIX, principalmente nos últimos 30 anos, sendo este aumento por influência ou não da liberação dos gases de efeito estufa. Esta tendência de aumento da média de temperatura máxima também

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

foi constatada por Viana et al. (2006), que demonstraram desvios de temperatura média máxima e mínima no estado do Rio Grande do Sul no ano de 2005, quando comparadas com as médias de temperatura dos anos de 1961 a 1990 (normal climatológica). De acordo com os autores, o inverno foi a estação que mais apresentou aumento nas médias de temperatura, tanto mínima quanto máxima, com um aumento de 1,8 ºC na temperatura mínima e 1,6 ºC na temperatura máxima. Porém todas as estações do ano apresentaram aumento na média de temperatura máxima.

A Figura 7 apresenta o comportamento da variável precipitação entre os anos de 1985 a 2015, com inclusão da linha de tendência e respectiva equação.

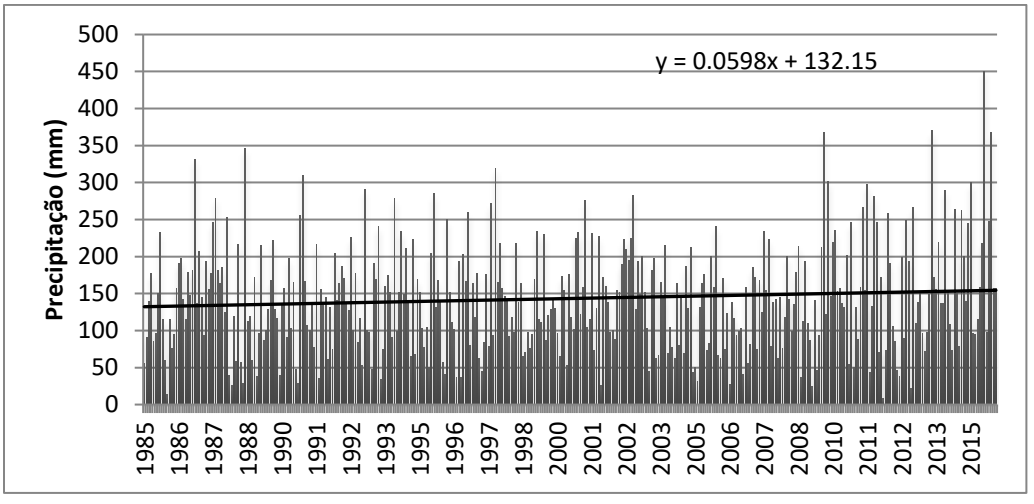


Figura 7 – Variação temporal da precipitação entre os anos de 1985 a 2015.

Observou-se também, uma tendência de aumento de volume de precipitação nos últimos anos, com maior frequência de eventos extremos. De acordo com Sanches et al. (2014), avaliando eventos intensos de acumulados de chuvas em cinco dias (pêntadas) na região do Alto Uruguai, a partir de uma longa série de dados diários de precipitação (de 1961 a 2014), vericou-se que tais acumulados itensos em pêntadas vem tornando-se mais frequentes e intensos, sobretudo nas últimas décadas. Para os autores, foi possível concluir que a ocorrência de pêntadas intensas, principalmente em períodos de outono/inverno não deve ser considerada como evento "normal", pois foge do comportamento usual das chuvas, além de ser cada vez mais intensa nos últimos anos, causando impactos socioeconômicos e estruturais para a sociedade.

Sabe-se que a precipitação em uma bacia hidrográfica afeta diretamente a vazão desta, sendo fundamental conhecer alterações em padrões de vazão pois isto afeta diretamente a gestão de uma bacia hidrográfica, sendo primordial para estudos de abastecimento, irrigação, setor hidroenergético e para áreas com riscos de inundação.

Na Figura 8 apresenta-se o comportamento da variável vazão.

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

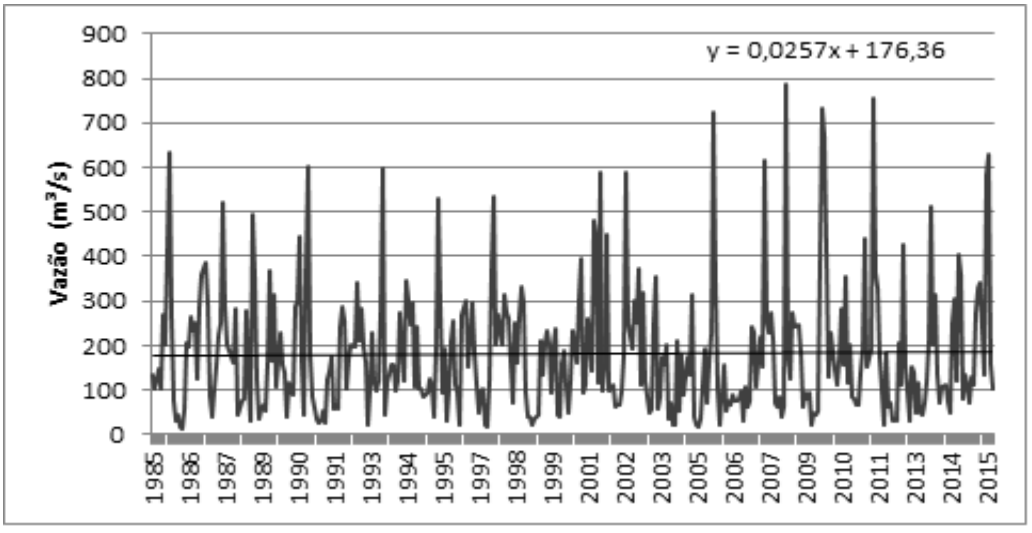


Figura 8 – Variação temporal da vazão entre os anos de 1985 a 2015.

A série de vazão, Figura 8, apresentou regularidade no valor da média mensal. Entretanto, podemos observar graficamente, que os valores de máximos mensais aumentaram, principalmente a partir do ano de 2005. Observa-se também, uma frequência maior de vazões máximas, com um menor intervalo de tempo entre elas. Em um estudo na Bacia do Rio Camaquã/RS, Baggiotto et al. (2012) constataram que houve tendência de aumento nos volumes de vazão e precipitação na bacia hidrográfica estudada, sendo este aumento mais evidente a partir do ano de 1990.

A fim de avaliar o comportamento da temperatura e precipitação na bacia do Rio dos Sinos foi realizada uma comparação com as normais climatológicas de Porto Alegre obtidas pelo INMET para o período de 1961 a 1990.

Na Figura 9 pode-se observar a variação temporal média mensal dos dados de precipitação e temperatura durante os 31 anos observados (1985 a 2015) e durante as normais climatológicas (1961 a 1990).

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

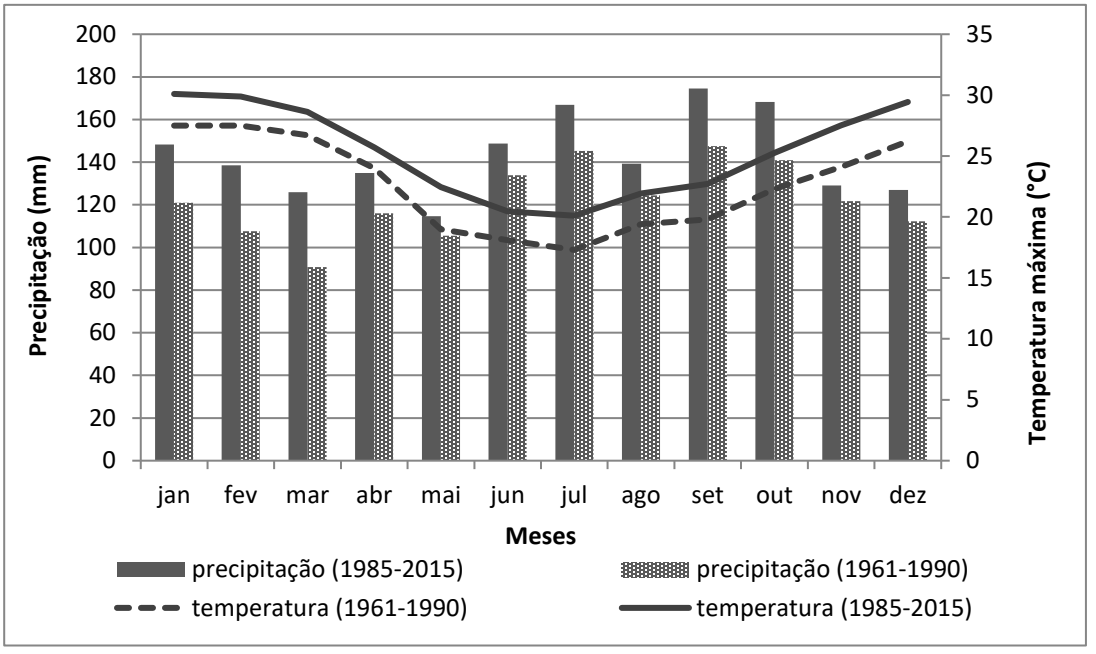


Figura 9 – Comparação das médias mensais de precipitação total e temperatura máxima entre o período do estudo (1985-2015) com as normais climatológicas (1961-1990).

Percebe-se que, apesar do comportamento da precipitação e da temperatura se manterem semelhantes no decorrer do ano, as médias mensais aumentaram nos últimos anos, com um volume maior de precipitação e com temperaturas máximas mensais maiores também, o que corrobora com os autores citados anteriormente (BAGGIOTTO et al., 2012; SANCHES et al., 2014; VIANA et al., 2006; TEODORO; AMORIM, 2008).

4. CONCLUSÃO

Muitas vezes, os dados hidrometeorológicos apresentam falhas, às vezes por erros de medição, às vezes por problemas no equipamento, sendo que o conhecimento destes dados é de fundamental importância para o planejamento e gestão de bacias hidrográficas, possibilitando a previsão hidrológica e climatológica. Por isto a importância de aplicar metodologias de imputação de dados, principalmente em estudos climáticos que necessitam de longas séries de dados. Neste estudo, a imputação dos dados mostrou-se favorável através do uso da metodologia de regressão linear múltipla, não alterando as principais características da série de temperatura. Esta metodologia pode ser empregada não só para imputação de dados em séries de temperatura como também para outras variáveis em diferentes locais, sendo fundamental para bacias hidrográficas com escassez de dados hidrometeorológicos.

Percebeu-se, não somente pelo comportamento das variáveis no tempo de estudo, mas principalmente quando comparou-se o comportamento médio mensal de temperatura e precipitação com as normais climatológicas, que houve, de fato, um aumento nas médias de temperatura máxima e precipitação

total, o que pode estar ocorrendo devido as mudanças do clima, corroborando com trabalhos que afirmam que na região Sul do Brasil, as precipitações tendem a aumentar devido ao aumento de temperatura.

5.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BAGGIOTTO, C.; DULAC, V. F.; ARAÚJO, R. K.; CRUZ, R. C.; CRUZ, J. C. Análise de séries temporais de chuvas e vazões da bacia hidrográfica do Rio Camaquã. In: Simpósio de Ensino, Pesquisa e Extensão. Santa Maria, 2012.

CALDEIRA, T.L; ARAÚJO, M.M.F.; BESKOW, S. Análise de série hidrológica de precipitação no sul do Rio Grande do Sul para aplicação na gestão e monitoramento de recursos hídricos. In: Anais IV Encontro Sul-brasileiro de Meteorologia. Pelotas, 2011.

DANGENDORF, S.; MARCOS, M.; WÖPPELMANN, G.; CONRAD, C. P.; FREDERIKSE, T.; RIVA, R. Reassessment of 20th century global mean sea level rise. PNAS, Vol. 114, n. 23, 2017.

DEPINÉ, H.; CASTRO, N. M. dos R.; PEDROLLO, O.; PINHEIRO, A.; Preenchimento de falhas de dados horários de precipitação utilizando redes neurais artificiais. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 19 n.1, pp. 51-63, 2014.

DETZEL, D. H. M.; OENING, A. P.; SOUZA, A. R. R.; CERMINARO, S. L. C. Preenchimento de Dados Limnimétricos Horários Via Modelos ARIMA. RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 18 n.4 –Out/Dez 2013,p. 281-292.

EDINGER, L. R.; OSÓRIO, D. M. M. Avaliação da qualidade do ar da Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos através de amostradores passivos. In: Anais III Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental. Goiânia/GO, 2012.

GENÇAY, R. Non-linear prediction of security returns with moving average rules. Journal of Forecasting, v. 15, n. 3, p. 165–174, 1996.

HABERLANDT, U. Geostatistical interpolation of hourly precipitation from rain gauges and radar for a large-scale extreme rainfall event. Journal of Hydrology, v. 332, n. 1-2, p. 144-157, 2007.

HARRELL, F.E. Jr. Regression modeling strategies with applications to linear models, logistic regression and survival analysis. Springer–Verlag, New York, 2001.

IPCC. Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, United Kingdom and New York, USA, 2007.

LUCIO, P. S., CONDE, F. C., CAVALCANTI, I. F. A.; RAMOS, A. M., CARDOSO, A. O. Reconstrução de séries meteorológicas via redes neurais artificiais. In: Anais XIV CBMET, Florianópolis — SC. 2006.

MARCOS, A. S. et al. Os recursos hídricos e as mudanças climáticas: discursos, impactos e conflitos. Revista Geográfica Venezolana, v. 51, p. 59-68, 2010.

MARENGO, J. A. Mudanças Climáticas Globais e seus Efeitos sobre a Biodiversidade: Caracterização do Clima Atual e Definição das Alterações

Climáticas para o Território Brasileiro ao Longo do Século XXI. Série Biodiversidade, v. 26. Brasília: MMA, 2006.

_____. Água e mudanças Climáticas. Estud. av., v. 22, n.63, São Paulo, 2008. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-40142008000200006>

_____. et al. Riscos das mudanças climáticas no Brasil: Análise conjunta Brasil-Reino Unido sobre os impactos das mudanças climáticas e do desmatamento na Amazônia. Projeto colaborativo realizado pelo Centro de Ciência do Sistema Terrestre (CCST) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) do Brasil e o Met Office Hadley Centre (MOHC) do Reino Unido, 2011.

MORETTIN, P. A.; TOLOI, C. M. C. Análise de séries temporais. São Paulo: Edgard Blücher, 2006.

OLIVEIRA, L. F. C.; FIOREZE, A. P.; MEDEIROS, A. M. M.; SILVA, M. A. S. Comparação de metodologias de preenchimento de falhas de séries históricas de precipitação pluvial anual. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental - Agriambi, v. 14, n. 11, p. 1186-1192, 2010.

SANCHES, F.O.; BALEN, D.S.; SILVA, R.V.; ROSA, K.K.; RADÜNZ, A. Chuvas no Rio Grande do Sul: um estudo sobre as precipitações acumuladas intensas no Alto Uruguai Gaúcho. Revista Brasileira de Climatologia, v. 15, p. 143-162, 2014.

SECREATARIA DO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL (SEADES). Bacia hidrográfica do Rio dos Sinos. 2010. Disponível em: <http://www.sema.rs.gov.br/>. Acesso em: 22 mar. 2016.

SELLERS, W.D. Physical Climatology. Chicago: The University of Chicago Press, 1974. 272p.

TEODORO, P. H. M.; AMORIM, M. C. C. T.; Mudanças Climáticas: algumas reflexões. Revista Brasileira de Climatologia, v. 3, p. 25-35, 2008.

VENTURA, T. M.; SANTANA, L. L. R.; MARTINS, C. A.; FIGUEIREDO, J. M. Análise da aplicabilidade de métodos estatísticos para preenchimento de falhas em dados meteorológicos. Revista Brasileira de Climatologia, v. 19, a. 12, 168 – 177, 2016.

VIANA, D. R.; AQUINO, F. E.; MATZENAUER, R. Análise das temperaturas máximas e mínimas no estado do Rio Grande do Sul em 2005. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia. Florianópolis, Santa Catarina, 2006.

WANDERLEY, H. S.; AMORIM, R. F. C. de; CARVALHO, F. O. de; Variabilidade especial e preenchimento de falhas de dados pluviométricos para o Estado de Alagoas. Revista Brasileira de Meteorologia, v.27, n.3, 347 - 354, 2012

WILSON, L. Avaliação da vulnerabilidade às mudanças climáticas no setor de recursos hídricos. Maputo, 2007..