

# XIII Congresso Nacional de **MEIO AMBIENTE** de Poços de Caldas

[www.meioambientepocos.com.br](http://www.meioambientepocos.com.br)

XIII CONGRESSO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE DE POÇOS DE CALDAS

21, 22 E 23 DE SETEMBRO DE 2016

## **ANÁLISE TEMPORAL, ESPACIAL E IDENTIFICAÇÃO DO PADRÃO DAS CHUVAS NA REGIÃO METROPOLITANA DE SÃO PAULO E NO SISTEMA CANTAREIRA**

**Pedro Augusto Breda Fontão<sup>(1)</sup>; João Afonso Zavattini<sup>(2)</sup>**

<sup>(1)</sup> Geógrafo, Doutorando pelo Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Estadual Paulista - IGCE/UNESP, Rio Claro – SP, [pedrofontao@yahoo.com.br](mailto:pedrofontao@yahoo.com.br); <sup>(2)</sup> Geógrafo, Professor Adjunto no Departamento de Geografia, Universidade Estadual Paulista - IGCE/UNESP, Rio Claro – SP, [zavattini@rc.unesp.br](mailto:zavattini@rc.unesp.br).

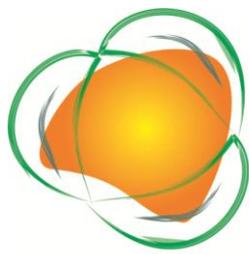
**Eixo Temático:** Gerenciamento de Recursos Hídricos e Energéticos

**RESUMO** – O presente estudo busca analisar a distribuição temporal e espacial das precipitações, e propor a partir de investigação, a identificação e escolha de anos padrão representativo do habitual e dos extremos (chuvoso e seco) das chuvas na Região Metropolitana de São Paulo e no Sistema Cantareira, principal sistema de abastecimento da metrópole paulista. Para tanto, foi selecionada uma série histórica de 30 anos (1985-2014) e escolhidos 19 postos pluviométricos inseridos no interior e entorno da área de estudo. Em nível anual, foi aplicada a técnica da fórmula de Sturges para a seleção e escolha de intervalos de classe representativos, cujos resultados foram interpolados e analisados através de histograma de frequência. Tais resultados irão contribuir para a compreensão do ritmo climático anual, subsídio de futuras análises e para o planejamento dos recursos hídricos em nível regional.

**Palavras-chave:** Região Metropolitana de São Paulo. Recursos Hídricos. Anos Padrão. Climatologia.

**ABSTRACT** – This study aims to analyze the spatial and temporal distribution of precipitation, and propose from research, identification and choice of standard-years representative of habitual and extreme (wet and dry) of rain in the São Paulo metropolitan area and Cantareira System, main water supply system of this metropolis. To this end, we selected a historical series of 30 years (1985-2014) and chosen 19 rain gauges inserted inside and around the study area. On annual level, it was applied the technique of Sturges formula for the selection and choice of representative class intervals, and the results were interpolated and analyzed through frequency histogram. These results will contribute to the understanding the rhythm of climate in annual level, to benefit future analysis and for planning of water resources ate the regional level.

**Keywords:** São Paulo metropolitan area. Water resources. Standard-years. Climatology.



# XIII Congresso Nacional de **MEIO AMBIENTE** de Poços de Caldas

[www.meioambientepocos.com.br](http://www.meioambientepocos.com.br)

XIII CONGRESSO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE DE POÇOS DE CALDAS

21, 22 E 23 DE SETEMBRO DE 2016

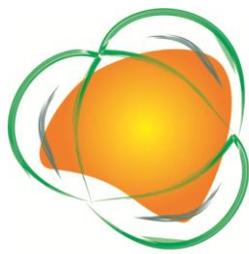
## **Introdução**

A variabilidade e a irregularidade das chuvas, tanto em nível espacial quanto temporal, faz da compreensão da dinâmica deste elemento algo essencial para uma análise da diversidade climática regional e de sua influência direta no ritmo das atividades humanas. A precipitação, em especial aquelas excepcionais, de repercussão intensa para as quais a população residente em áreas afetadas não está preparada, tem seus efeitos ampliados para outras esferas geográficas dotadas de dinamismo próprio, sejam estas voltadas ao meio urbano ou rural, como é o caso do gerenciamento de recursos hídricos e a geração de energia hidrelétrica.

Neste sentido, tal conhecimento pode contribuir para ações que favoreçam o melhor aproveitamento da distribuição hídrica nas mais variadas instâncias, sendo fundamental para o planejamento deste recurso. No Brasil, há tanto regiões bem drenadas o ano todo, quanto outras de elevada irregularidade pluvial e/ou déficit hídrico, todavia apesar desta característica, de modo geral quase a totalidade dos principais aglomerados urbanos do país necessita de investimentos para a oferta de água, incluindo nesta conjuntura o aproveitamento de novos mananciais ou a adequação dos sistemas produtores, conforme afirma a Agência Nacional de Águas (2010). Tucci (2008), ao analisar as águas urbanas, elenca uma série de problemas enfrentados por estes aglomerados, pois o aumento destas áreas impermeabilizadas pode gerar perda da qualidade da água pluvial.

De acordo com o Ministério do Meio Ambiente (2006, p. 65), paralelamente ao aumento das áreas impermeabilizadas “ocorre um adensamento da população e o conseqüente aumento da demanda por água potável, o que torna o abastecimento preocupante”. É neste sentido que Camargo e Pereira (2003, p.55), ao observar a necessidade crescente de grandes volumes de água para o abastecimento das áreas urbanas, e o decorrente aumento do lançamento de efluentes, repercutindo em longos trechos de rios com água poluída, afirmam que quando a qualidade da água é baixa a estação de tratamento “não tem capacidade para torna-la potável, assim há necessidade de buscar este recurso em outro local. Pode-se concluir que a poluição também promove a escassez do recurso hídrico”.

Dentro desta perspectiva, um assunto intimamente relacionado à dinâmica atmosférica ganhou grande repercussão no triênio 2013-2015, desencadeado por um longo período de baixa precipitação e que repercutiu numa “crise hídrica” no sudeste brasileiro, em específico no estado de São Paulo (COELHO *et. al.*, 2015). Em virtude da intensa urbanização, a Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) apresentou um quadro próximo de exaustão dos mananciais, em especial no Sistema Cantareira, mais importante conjunto de reservatórios da região e suficiente para abastecer um número próximo da metade de toda a população da RMSP (SABESP, 2016). A Figura 1 ilustra a localização da RMSP, o Sistema Cantareira e a hidrografia principal da região.

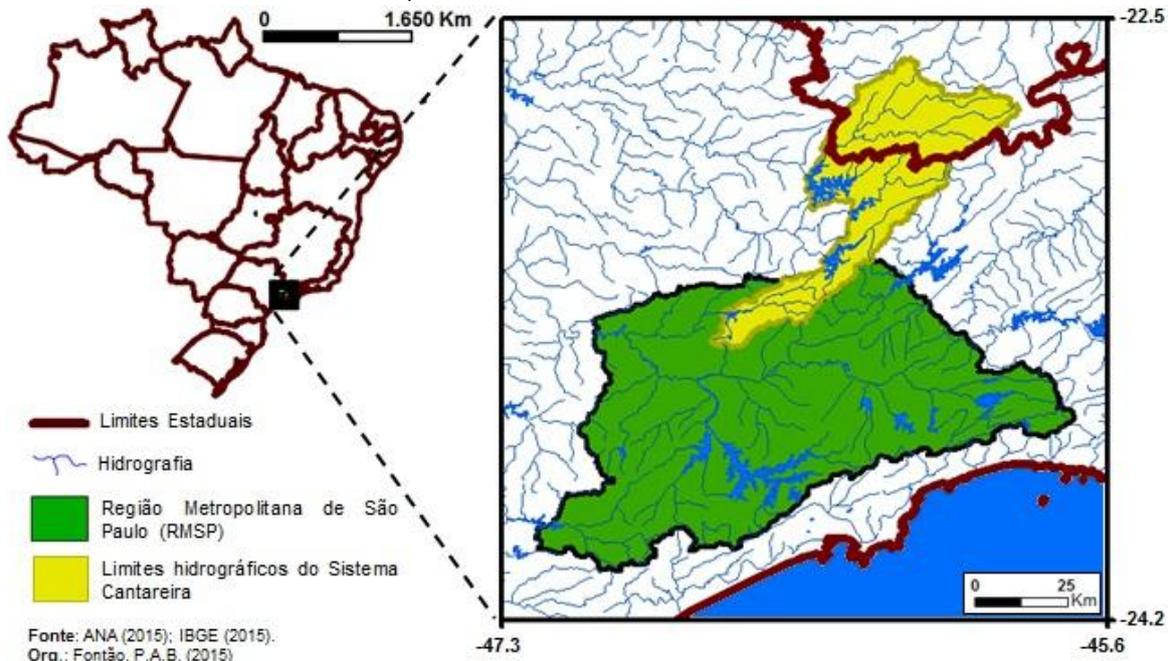


# XIII Congresso Nacional de **MEIO AMBIENTE** de Poços de Caldas

[www.meioambientepocos.com.br](http://www.meioambientepocos.com.br)

XIII CONGRESSO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE DE POÇOS DE CALDAS

21, 22 E 23 DE SETEMBRO DE 2016

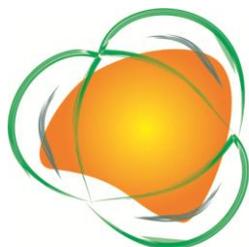


**Figura 1** - A Região Metropolitana de São Paulo e o Sistema Cantareira

O abastecimento urbano, geração de energia hidrelétrica e outros fenômenos, derivados direta ou indiretamente da precipitação, têm ganhado a cada dia mais importância, em especial em situações de excesso ou escassez pluvial, através de episódios ou períodos de tipos de tempo atmosféricos excepcionais, resultantes do ritmo climático. Buscando tal compreensão, este artigo propõe a escolha de anos padrão (MONTEIRO, 1971) para analisar a dinâmica climática na RMSP e no Sistema Cantareira, procurando avaliar anos cuja variação nas configurações dos elementos climáticos (e consequente precipitação) se caracterize como sendo de padrões extremos (seco ou chuvoso) ou habituais para a região estudada.

## **Material e Métodos**

Os procedimentos de levantamento dos postos pluviométricos e coleta de dados foram feitos através do site do Departamento de Águas e Energia Elétrica do estado de São Paulo (DAEE, 2016) e da Agência Nacional de Águas (ANA, 2016), sendo identificados e escolhidos 19 postos, inseridos no interior e entorno da RMSP e Sistema Cantareira. Tais procedimentos adotaram metodologia semelhante a outros estudos já realizados no âmbito da Climatologia Geográfica brasileira (ZAVATTINI e BOIN, 2013; FONTÃO, 2014, dentre outros), e consiste na utilização de planilhas para auxiliar na identificação da melhor série histórica ininterrupta, e no maior número de postos possíveis distribuídos ao longo da área de estudo. A Figura 2 ilustra e espacializa os 19 postos pluviométricos selecionados que contemplam, de maneira homogênea, a série histórica de dados no período 1985 a 2014, resultando em 30 anos em sequência. As falhas, quando existentes, foram corrigidas em nível diário a partir da média dos três postos mais próximos existentes.

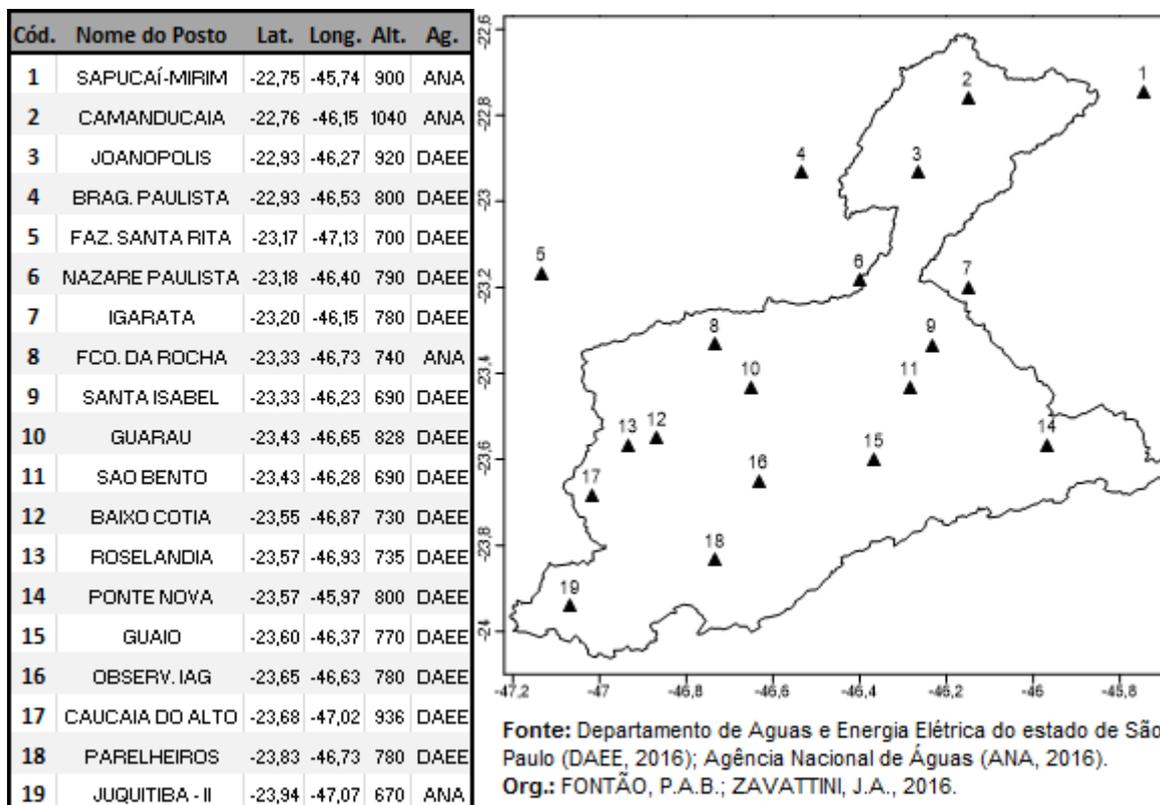


# XIII Congresso Nacional de **MEIO AMBIENTE** de Poços de Caldas

www.meioambientepocos.com.br

XIII CONGRESSO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE DE POÇOS DE CALDAS

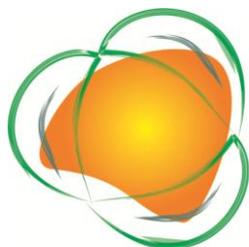
21, 22 E 23 DE SETEMBRO DE 2016



**Figura 2** - Postos pluviométricos selecionados na área de estudo e entorno.

Da posse dos dados, utilizou-se em nível anual planilhas para a escolha dos anos padrão, termo concebido inicialmente por Monteiro (1971; 1973) e de grande aceitação na Climatologia brasileira para identificar períodos representativos visando futuras análises. Neste estudo, foi utilizado a técnica da fórmula de Sturges (GERARDI e SILVA, 1981) para sugerir intervalos de classe, através da expressão " $k = 1 + 3,3 \cdot \text{Log } n$ " ( $k$  = número de classes,  $n$  = número de observações e  $\text{Log}$  é o logaritmo para a base 10). A técnica resulta em um número razoável de classes, variando conforme o número de ocorrência e extensão dos dados, sendo ideal para fins de mapeamento (SILVA, 1980; FONTÃO, 2014). Para as classes resultantes, foram adotados termos para classificar os anos conforme os resultados obtidos pela precipitação em nível espacial (chuvoso, tendente a chuvoso, habitual, tendente a seco e seco).

A interpolação dos dados pluviométricos foi feita através do método geostatístico da krigagem ordinária, utilizando o *software Surfer 13*. Tabios e Salas (1985), através de uma investigação comparativa, sugerem esta técnica como a mais eficiente para especializar a precipitação. Deste procedimento, resultaram os mapas de isolinhas gerados. Cabe ressaltar que as planilhas e gráficos deste artigo foram gerados pelo *software Microsoft Excel 2010*, os mapas confeccionados através do *Surfer 13* e *Arcgis 10* e as imagens tratadas pelo *CorelDRAW Graphics Suite X5*.



# XIII Congresso Nacional de **MEIO AMBIENTE** de Poços de Caldas

[www.meioambientepocos.com.br](http://www.meioambientepocos.com.br)

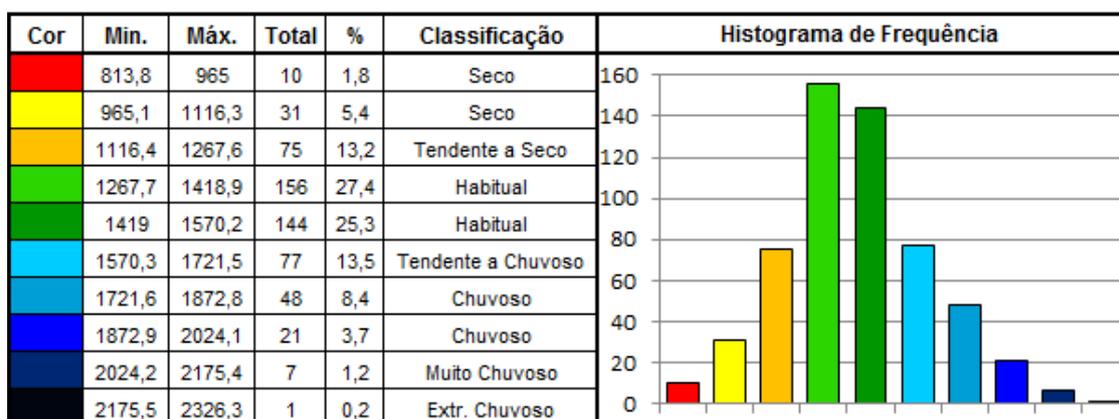
XIII CONGRESSO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE DE POÇOS DE CALDAS

21, 22 E 23 DE SETEMBRO DE 2016

## Resultados e Discussão

Partindo de uma série histórica de 30 anos ininterruptos (1985 – 2014), e 19 postos pluviométricos selecionados, foi possível obter um conjunto de 570 dados de chuva em nível anual. Tais observações foram elencadas em ordem crescente de grandeza, resultando em um valor mínimo de 813,8 milímetros (mm) e uma máxima de 2326,3 mm, extremos que resultaram em uma amplitude total de 1512,5 mm.

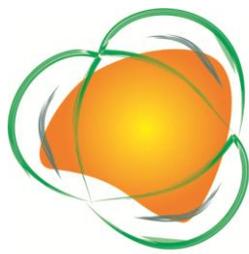
O número total e observações serviram de base para a aplicação da técnica da fórmula de Sturges, sugerindo (de maneira aproximada) um total de dez classes resultantes. O intervalo das classes foi feito de acordo com a amplitude calculada previamente, resultando em trechos de 174,9 mm. A partir dos dez agrupamentos, cada uma das classes foi analisada a partir do número total de dados e o volume de precipitação compreendido no intervalo, que somada ao conhecimento regional prévio, contribuiu para classificar empiricamente cada uma das classes e a atribuição de cores representativas. A Figura 3 ilustra os períodos e intervalos selecionados, respectivas cores e o histograma de frequência dos dados.



**Figura 3** - Intervalo de classes e histograma de frequência dos dados.

A partir dos resultados do histograma de frequência, e respectivas proporções, tornou-se possível, após uma análise empírica, atribuir os termos utilizados para classifica-los. Cabe ressaltar que tais dados abrangem uma imensa área, de escala regional e padrão irregular na distribuição das chuvas. Assim, antes de tomar qualquer decisão a respeito do comportamento pluviométrico anual, foram gerados 30 mapas de distribuição de chuva (isoietas) em nível anual, representados através dos intervalos de classe sugeridos.

Da análise dos cartogramas é possível visualizar, ao longo dos anos e através da distribuição espacial, a participação das classes habituais e extremas (secas e chuvosas). Da mesma forma, permite uma análise comparativa entre a precipitação na RMSP e no Sistema Cantareira, tanto em um período escolhido quanto ao longo dos anos. Buscando exemplificar e revelar parte do material gerado, a Figura 4 ilustra três anos representativos, sendo o ano de 2009 atribuído como mais chuvoso da série, 1993 o mais próximo do habitual observado e o ano de 2014 como o mais seco do período.



# XIII Congresso Nacional de MEIO AMBIENTE de Poços de Caldas

www.meioambientepocos.com.br

XIII CONGRESSO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE DE POÇOS DE CALDAS

21, 22 E 23 DE SETEMBRO DE 2016

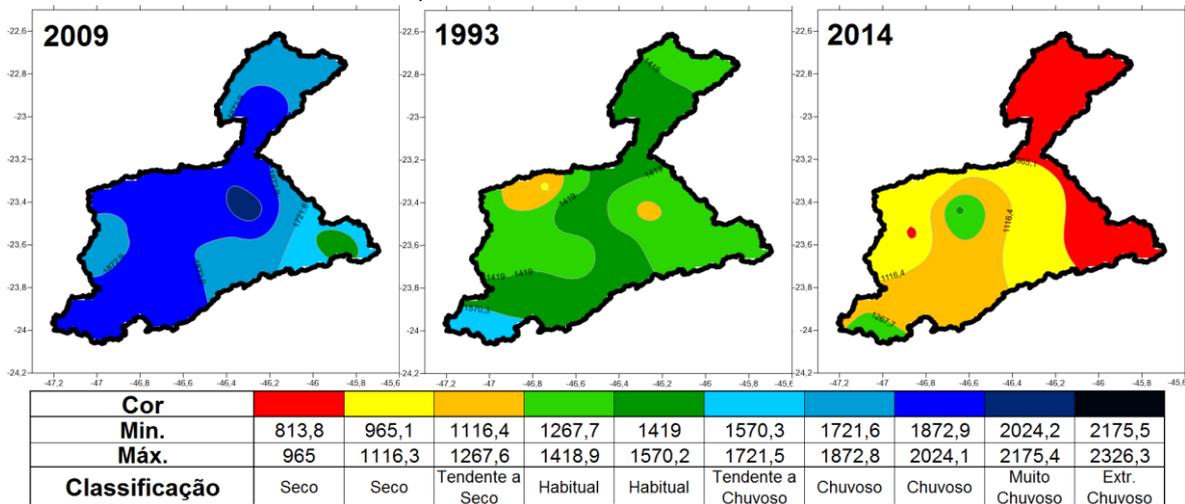


Figura 4 – Anos padrão representativos e respectivas classes.

Partindo para a identificação e escolha dos anos padrão, tanto para cada ano da série histórica, quanto a partir da distribuição espacial (RMSP e Sistema Cantareira), foram analisados todo o material gerado e a respectiva distribuição e participação das classes. Resultante deste procedimento, a Figura 5 propõe, através de uma análise empírica da frequência dos intervalos de classe em nível espacial das duas regiões representativas, uma síntese do comportamento anual na RMSP (acima) e no Sistema Cantareira (abaixo).

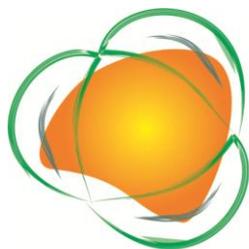
Ano	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	Total	
Seco	X																		X											X	3	
Tend. a Seco										X					X			X														3
Habitual				X	X		X	X				X	X		X	X		X	X	X	X	X	X	X		X		X			15	
Tend. a Chuv.	X	X	X								X														X		X				6	
Chuvoso							X					X												X							3	

Ano	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	Total
Seco																			X											X	2
Tend. a Seco	X					X												X											X		4
Habitual		X		X		X	X	X			X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X		X		X				16
Tend. a Chuv.	X					X						X	X											X		X					4
Chuvoso				X							X	X													X						4

Figura 5 – Síntese do comportamento anual da chuva na região estudada.

A análise realizada nesse estudo permitiu identificar, em ordem decrescente, os anos de 2009, 1996 e 1995 como os mais chuvosos, e os períodos de 2014, 2003 e 1984 destacando-se como os mais secos da série histórica. Todavia, ressalta-se uma sensível diferença em alguns anos entre o interior da RMSP e o Sistema Cantareira, podendo-se citar o ano de 2012 e 2013 como exemplos, pois ambos



# XIII Congresso Nacional de **MEIO AMBIENTE** de Poços de Caldas

[www.meioambientepocos.com.br](http://www.meioambientepocos.com.br)

XIII CONGRESSO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE DE POÇOS DE CALDAS

21, 22 E 23 DE SETEMBRO DE 2016

apresentaram grande diferença na precipitação da metrópole em relação aos mananciais ao norte, resultando em maiores volumes na RMSP, fator que possivelmente pode ter contribuído para a “crise hídrica” resultante no Cantareira.

Tais resultados apontam para a existência de duas realidades climáticas distintas em nível regional e que, apesar de ambas apresentarem volumes totais de chuva semelhantes na maior parte dos anos, ocorrem nítidas diferenças em alguns períodos. Uma possível explicação para tal consideração pode ser atribuída a Monteiro (1973), em que o autor aponta a existência de uma faixa e transição móvel no estado que, devido ao dinamismo atmosférico e atuação das massas de ar, definem-se dois grandes grupos climáticos. Nesta subdivisão, derivada da participação dos sistemas atmosféricos, a RMSP (bacia paulistana) encontra-se ao sul, enquanto os mananciais do Cantareira localizam-se ao norte.

Ainda, um ponto destacado por diversos meios de comunicação em meio à “crise hídrica” nos anos de 2014 e 2015 foi a seguinte questão: “por que chovia na RMSP e não no Sistema Cantareira?”. Além de características em nível local, como o relevo e o fenômeno das ilhas de calor (NOBRE e YOUNG, 2011), a participação de sistemas atmosféricos geradores de instabilidade é algo fundamental a ser considerado neste questionamento, pois a atuação desigual destes sistemas em regiões e períodos pode contribuir para os distintos volumes de chuva nos locais.

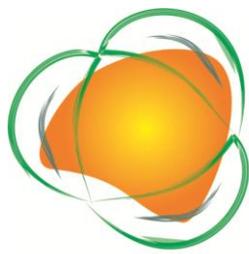
## **Conclusões**

Os resultados obtidos na análise das chuvas possibilitaram a identificação (e escolha) de anos padrão representativos na área de estudo, delimitando e diferenciando o habitual do excepcional na região. Do mesmo modo, foi possível verificar uma diferença sensível na precipitação entre a RMSP (ao Sul) e o Sistema Cantareira (ao Norte), em específico quando comparado ao longo do tempo.

Ainda, tais resultados obtidos e publicados neste artigo poderão subsidiar novas análises, a partir de escalas temporais de investigação mais específicas, dentre elas em nível sazonal, mensal e/ou diário. Da mesma maneira, tendo em mente a fundamentação teórica da “análise rítmica” como reveladora da “gênese dos fenômenos climáticos pela interação dos elementos e fatores” (Monteiro, 1971, p. 12) da circulação atmosférica em nível regional, poderá contribuir para investigações que permitam visualizar e identificar a gênese das chuvas na região e, partindo desta resultante, verificar a gênese das cheias e estiagens que podem resultar na área de estudo, possíveis de impactar o abastecimento urbano, geração de energia hidrelétrica, vulnerabilidade e riscos a enchentes, dentre outros.

## **Agradecimento(s)**

Esta pesquisa encontra-se em desenvolvimento por meio de apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Níveis Superior – CAPES, através do financiamento de bolsa de doutorado desde Abril de 2015. O apoio da referida instituição torna possível o desenvolvimento e a continuidade do projeto intitulado “Variações do Ritmo Pluvial: reflexos no armazenamento hídrico e impactos no abastecimento urbano da Região Metropolitana de São Paulo”.



# XIII Congresso Nacional de **MEIO AMBIENTE** de Poços de Caldas

[www.meioambientepocos.com.br](http://www.meioambientepocos.com.br)

XIII CONGRESSO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE DE POÇOS DE CALDAS

21, 22 E 23 DE SETEMBRO DE 2016

## Referências Bibliográficas

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Atlas Brasil: abastecimento urbano de água: panorama nacional. Brasília. Agência Nacional de Águas; Engecorps/Cobrape, 2010.

ANA. Agência Nacional de Águas. Online. Disponível em: <<http://www2.ana.gov.br/Paginas/default.aspx>>. Acesso em: 01 fev. 2016.

CAMARGO, A. F. M.; PEREIRA, A. M. M. Qualidade da água em áreas urbanas. In: BRAGA, R.; CARVALHO, P. (Org.). Recursos Hídricos e planejamento urbano e regional. Rio Claro: Laboratório de Planejamento Municipal – Deplan – UNESP – IGCE, 2003. p. 37-48.

COELHO, C. A. S.; CARDOSO, D. H. F.; FIRPO, M. A. F. Precipitation diagnostics of an exceptionally dry event in São Paulo, Brazil. Theoretical and Applied Climatology. p.1-16, 2015. Disponível em: <<http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs00704-015-1540-9>>. DOI: 10.1007/s00704-015-1540-9. Acesso em: 02 fev. 2016.

DAEE. Departamento de Águas e Energia Elétrica. Online. Disponível em: <<http://www.dae.sp.gov.br/>>. Acesso em: 01 fev. 2016.

FONTÃO, P. A. B. Ritmo das chuvas na bacia do Pardo (SP/MG): reflexos na vazão dos rios Pardo e Mogi-Guaçu. 2014. 127p. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Estadual Paulista – UNESP.

GERARDI; L. H. O.; SILVA, B. N. Quantificação em geografia. São Paulo-SP. DIFEL, 1981.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Plano Nacional de Recursos Hídricos. Brasília. Ministério do Meio Ambiente; Secretaria de Recursos Hídricos, 2006.

MONTEIRO, C. A. F. A análise rítmica em climatologia: problemas da atualidade climática em São Paulo e achegas para um programa de trabalho. Climatologia. v.1, n.1, p.01-21, 1971.

MONTEIRO, C. A. F. A Dinâmica Climática e as Chuvas no Estado de São Paulo: estudo geográfico sob a forma de atlas. São Paulo-SP. USP/IG, 1973.

NOBRE, C.; YOUNG, A. (ed). Vulnerabilidade das Megacidades Brasileiras às Mudanças Climáticas: Região Metropolitana de São Paulo. São Paulo. UNICAMP/INPE, 2011.

SABESP. Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo. Online. Disponível em: <<http://site.sabesp.com.br/>>. Acesso em 01 fev. 2016.

SILVA, B. N. A propósito de uma técnica de seleção de intervalos de classe para fins de mapeamento. Geografia, v. 5, n. 9-10, p.85-96, 1980.

TABIOS, G. Q.; SALAS, J. D. A comparative analysis of techniques for spatial interpolation of precipitation. Water Resources Bulletin, v.21, n.3, p.365-380, 1985.

TUCCI, C. E. M. Águas urbanas. Estudos avançados. São Paulo. v.22, n.63, 2008. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0103-40142008000200007>>. Acesso em: 03 fev. 2016.

ZAVATTINI, J. A.; BOIN, M. N. Climatologia Geográfica: teoria e prática e pesquisa. Campinas-SP. Ed. Alínea, 2013.