



A VARIABILIDADE DA PRECIPITAÇÃO ANUAL E SAZONAL E SUAS RELAÇÕES COM OS FENÔMENOS EL NIÑO E LA NIÑA NA CIDADE DE SÃO PAULO – SP

GUSTAVO SCHENKEL COLISSI¹
ANDERSON LUIS HEBLING CHRISTOFOLETTI²
IARA REGINA NOCENTINI ANDRÉ³
THIAGO SALOMÃO DE AZEVEDO⁴
DIEGO CORREA MAIA⁵

Resumo: Este trabalho teve como objetivo analisar a variabilidade pluviométrica da cidade de São Paulo entre os anos de 1940 e 2010, além de verificar se os fenômenos El Niño e La Niña apresentam relações positivas ou negativas com as chuvas. Os dados, na escala mensal, foram obtidos na Estação Meteorológica do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas (IAG) da Universidade de São Paulo – USP. O comportamento temporal da precipitação foi estudado através da análise sazonal e anual dos registros. Constatou-se tendência de aumento das precipitações em todas as estações do ano e, após a comparação dos valores da série com os eventos El Niño e La Niña, verificou-se que não há padrão característico de alteração das chuvas.

Palavras-chave: El Niño, La Niña, variabilidade da precipitação, clima de São Paulo, sazonalidade.

Abstract: The objective of this research was to analyze the pluviometric variability of the city of Sao Paulo between the years of 1940 in 2010 and also verify if the phenomenons El Niño and La Niña presented positive or negative correlation with the amounts of rainfall. The data, gathered on a monthly basis, was collected at the "Institute of astronomy, geophysics and atmospheric sciences" of the University of Sao Paulo (USP). The precipitation's temporal behavior was studied through the analysis of seasonal and annual records. The data acquired revealed a tendency towards the increase of precipitation in all seasons of the year and after comparing the values of the series with the events of El Niño and La Niña, it was established that there is no characteristic pattern on the amount of rainfall.

Keywords: El Niño, La Niña, variability of precipitation (precipitation variability), climate of São Paulo, seasonality.

¹ Aluno do Programa de Graduação em Geografia da Universidade Estadual Paulista – Campus de Rio Claro – SP, Brasil. E-mail: gcolissi@gmail.com

² Professor Assistente Doutor do Departamento de Geografia da Universidade Estadual Paulista - Campus de Rio Claro – SP, Brasil. Email: alhc@rc.unesp.br

³ Professora Assistente Doutora do Departamento de Geografia da Universidade Estadual Paulista- Campus de Rio Claro – SP, Brasil. Email: iaranocentini@gmail.com

⁴ Doutor pesquisador no Núcleo de pesquisas sobre Desastres e na Secretaria do Meio Ambiente do Município de Santa Bárbara d'Oeste – SP. Email: azevedodots@gmail.com

⁵ Professor Assistente Doutor da Universidade Estadual Paulista - Campus de Ourinhos– SP, Brasil. Email: maiaunesp@gmail.com



1 – Introdução

Compreender o clima terrestre sempre foi essencial à humanidade, pois todos os fenômenos climáticos que ocorrem na atmosfera, especialmente na troposfera, irão influenciar diretamente o exercício de suas atividades econômicas e sociais.

Analisando sob a perspectiva da escala temporal, é importante estudar as nuances dos meteoros no passado para compreender a variabilidade e as suas mudanças climáticas. O tempo e o clima influenciam o geossistema e o sistema socioeconômico de forma direta ou indireta, portanto a ciência dos elementos atmosféricos deve desempenhar o importante papel de analisar, através do método científico, o clima do planeta.

A área urbana apresenta um histórico de problemas decorrentes da chuva excessiva e de sua falta. Ano a ano, predominantemente no verão, as chuvas mais intensas causam não só transtornos a população, mas também enormes prejuízos econômicos e ambientais. De acordo com Pivetta (2012, p.44), se houvessem mais parques e menos áreas impermeabilizadas, os escoamentos ou enchentes não seriam tão intensos nas épocas mais chuvosas. Já no inverno, a época mais seca, a falta de chuva torna-se um problema, uma vez que é acentuada por eventos de inversão térmica e altos índices de partículas em suspensão, fazendo com que a população sofra pela baixa umidade do ar. Nesse sentido, Ayoade (2010) aponta que

O homem moderno [...] não quer viver à mercê do tempo meteorológico. Ele agora quer manejar ou até mesmo planejar o controle das condições meteorológicas. Para essa finalidade, o homem necessita capacitar-se a entender os fenômenos atmosféricos de modo que possa prevê-los, modificá-los ou controlá-los quando possível. (AYOADE, 2010, p. 7).

A necessidade do entendimento dos fenômenos atmosféricos, para Mendonça (2001) justifica-se pelo clima ser um dos elementos do meio natural que mais influenciam nas adaptações do homem ao meio.

1.1. – O fenômeno ENSO

Cerca de 70% da superfície do planeta é ocupada pelos oceanos, que são grandes reguladores climáticos. Eles apresentam importantes características termo-físicas, tal como alta capacidade térmica. Assim, torna-se necessária uma alta energia para aumentar sua temperatura, precisando de um tempo maior para dissipá-la quando comparados à área continental, por exemplo.

Os fenômenos que ocorrem nos oceanos podem interferir nos ecossistemas da superfície terrestre. O El Niño, por exemplo, é representado como um desses fenômenos, e



se enquadra na escala macroclimática, já que pode modificar as condições atmosféricas a nível global. Segundo o Cptec/Inpe (sem data),

O El Niño é um fenômeno atmosférico-oceânico caracterizado por um aquecimento anormal das águas superficiais no oceano Pacífico Tropical, e que pode afetar o clima regional e global, mudando os padrões de vento a nível mundial, e afetando assim, os regimes de chuva em regiões tropicais e de latitudes médias (CPTEC/ INPE, sem data).

O Índice de Oscilação Sul (IOS) funciona, de acordo com Molion (1989), como uma gangorra barométrica entre o Oceano Pacífico Oriental e Ocidental. As diferenças de pressão atmosférica média no nível do mar entre o Taiti (Polinésia Francesa no Pacífico Central) e Darwin (norte da Austrália no Pacífico Ocidental) assinalam a fase quente do El Niño (IOS negativo) ou a fase fria La Niña (IOS positivo) através da formação de áreas de alta e baixa pressão (MOLION, 1989).

O avanço ou recuo das águas mais frias no Pacífico Oriental, por exemplo, faz com que haja alterações na batimetria da termoclina, havendo um aprofundamento durante o evento quente do El Niño, que reduz o movimento de ressurgência. (SILVA, 2000).

Molion (1989) afirma que ambos os fenômenos irão causar diferentes alterações no padrão de circulação atmosférica, fazendo com que haja alterações das precipitações na escala planetária.

Assim, fica claro a influência e a repercussão, positiva ou negativa, da precipitação e da necessidade de estudar a variabilidade da série e verificar se eventos como o El Niño e a La Niña apresentam relações temporais com os regimes pluviométricos numa metrópole como São Paulo visto o dinamismo e a abrangência desses eventos.

1.2 – O clima e a área urbana de São Paulo

Um problema comum aos ambientes altamente urbanizados são as enchentes, decorrentes da impermeabilização dos solos, que traz prejuízos à cidade. O espaço urbano do município de São Paulo foi ocupado de maneira irregular pela falta de um planejamento eficiente, que levasse em conta as características físicas dos diferentes ambientes. Para Cavalcanti (2009),

Esses problemas advêm da desconsideração das especificidades do meio físico – inclusive de natureza climática – e da ocupação do espaço comandada por uma lógica alheia aos componentes naturais. Ainda que a concentração temporal das precipitações seja um traço típico dos regimes climáticos tropicais úmidos e subúmidos, a cada ano assiste-se a uma sucessão de tragédias, como



escorregamento de encostas [...] e inundações urbanas. (CAVALCANTI, 2009, p. 255).

Segundo dados do censo do IBGE (2010), São Paulo possui uma população de 11.253.503 habitantes, área de 1.521 km² com densidade demográfica de 7.387 habitantes/km².

Mendonça (2007, p. 170) afirma que São Paulo possui “um clima marcadamente tropical, (alternam o úmido e o seco)”. De acordo com a classificação climática de Köppen, enquadra-se no clima Cwa; desta forma, os invernos tendem a ser frescos e secos e os verões quentes e chuvosos.

2 – Materiais e métodos

Os valores das precipitações anuais e mensais foram obtidos junto à Estação Meteorológica do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas (IAG) da Universidade de São Paulo – USP. A partir dos dados mensais, atribuíram-se as médias às estações do verão (Janeiro a Março), outono (Abril a Junho), inverno (Julho a Setembro) e primavera (Outubro a Dezembro), o que permitiu maior detalhamento da série.

Os anos de ocorrência dos fenômenos El Niño e La Niña e suas intensidades, classificadas em forte, moderado e fraco, foram obtidos através do site do Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC).

Com o programa de planilhas Microsoft Office Excel 2007 foram gerados os gráficos dos desvios em relação aos respectivos valores médios e anuais dos totais pluviométricos. A reta de tendência dos mínimos quadrados foi inserida com a finalidade de verificar se há manutenção, aumento ou diminuição dos valores na sequência temporal.

A partir do comportamento temporal do El Niño e La Niña foram comparadas a frequência de ocorrência de anos mais chuvosos e mais secos para cada estação e também para o período anual.

3 – Resultados e discussões

O valor médio da precipitação acumulada anualmente no período de 1940 a 2010 pela Estação Meteorológica do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas (IAG) da Universidade de São Paulo – USP foi de 1419 mm.

A fórmula de Sturges indicou a utilização de sete classes para classificação dos registros em relação às médias sazonais e anuais. Entretanto, os dados sazonais foram



classificados em três classes (abaixo, habitual e acima), já que a amplitude dos valores não foi alta. Para os registros anuais, foram utilizadas cinco classes (Muito abaixo, abaixo, habitual, acima e muito acima), o que possibilitou melhor visualização dos resultados, considerando-se a amplitude um pouco maior entre o registro máximo e mínimo. A tabela 02 apresenta os dados do estudo e foi possível notar que o uso das cores permitiu claramente a percepção dos períodos abaixo da média (menos chuvosos), habituais e acima da média (mais chuvosos). Conforme a tabela 02, entre 1940 e 2010, houve 43 anos com incidência de El Niño e 27 com La Niña.

Precipitação anual	Precipitação Sazonal	El Niño	La Niña
Muito Acima	Acima	Forte	Forte
Acima	Habitual	Moderado	Moderado
Habitual	Abaixo	Fraco	Fraco
Abaixo			
Muito Abaixo			

Tabela 01: Classificação das temperaturas e dos fenômenos El Niño e La Niña

Organização: autores.

Anos	Totais Pluviométricos (mm) sazonais e anuais					Intensidade do Fenômeno	
	Verão	Outono	Inverno	Primavera	Anual	El Niño	La Niña
1940	558,2	67,4	64,4	353,7	1043,7		
1941	316,8	123,9	262,2	420,1	1123		
1942	538	204,6	137	264,3	1143,9		
1943	476,6	59,6	116,1	419,2	1071,5		
1944	585,6	94,6	44,7	342,7	1067,6		
1945	558,9	268,7	83	406,8	1317,4		
1946	493,7	106,6	93,5	392,9	1086,7		
1947	698,8	162,3	262,3	450	1573,4		
1948	555,5	133	170,2	294	1152,7		
1949	631,5	163,9	70,5	438,02	1303,92		
1950	669,4	168,9	65,7	479	1383		
1951	586,4	104,9	103,1	410	1204,4		
1952	737,4	158,3	94,7	322,4	1312,8		
1953	501,6	246,6	162,1	286,6	1196,9		
1954	511,4	194,6	58	295,5	1059,5		
1955	465	107,7	149,8	374,5	1097		
1956	593,9	341,2	251,5	275,5	1462,1		
1957	637,7	196,5	375,5	500,1	1709,8		
1958	493,9	353,2	168	555,6	1570,7		



1959	622,6	98,5	96,4	501,6	1319,1		
1960	580,7	323,6	65,6	543,1	1513		
1961	559,7	228,2	35,2	528,9	1352,0		
1962	598,5	97	139,3	569,1	1403,9		
1963	469,5	70,5	34,4	292	866,4		
1964	438,7	166	211,7	422,3	1238,7		
1965	699,9	241,1	176,6	523,4	1641		
1966	728,1	236,3	184	482,1	1630,5		
1967	698	158,7	152,7	482,8	1492,2		
1968	625,3	154,8	106,7	463,4	1350,2		
1969	351,2	183,2	83,7	557,3	1175,4		
1970	739,4	207,4	215,5	313,2	1475,5		
1971	718,8	227,2	150,8	386,3	1483,1		
1972	537,1	101,4	248,4	441,6	1328,5		
1973	554,4	106,6	182,2	513,8	1357,0		
1974	537,9	185,7	39,2	458,5	1221,3		
1975	457,2	76,5	114,1	456,4	1104,2		
1976	701,4	408,8	445,3	393,3	1948,8		
1978	490,9	204	126	646,8	1467,7		
1979	380,6	200,2	256,1	484,5	1321,4		
1980	663,9	150,2	113	507,3	1434,4		
1981	439,9	194,5	106,6	591,5	1332,5		
1982	647,2	356,3	127,2	577	1707,7		
1983	803,8	633,9	268,2	580	2236,0		
1984	393,6	188,9	278,8	209,5	1070,8		
1985	710,6	162,9	91,3	205,1	1169,9		
1986	813,5	170,3	186	395,6	1565,4		
1987	634,9	601,4	81,5	328,4	1646,2		
1988	712,8	422,5	53,3	528,7	1717,3		
1989	810,9	198,8	321,2	393,6	1724,5		
1990	677,4	209,9	236,9	370,7	1494,9		
1991	1015,1	330,5	166,9	406,2	1918,7		
1992	549,2	111,4	218,6	561,9	1441,1		
1993	571	183,5	268,7	282,2	1305,4		
1994	634,5	140,9	47,5	492,1	1315		
1995	871,7	156,2	131,6	462,5	1622		
1996	980,6	134,9	176,6	630,9	1923		
1997	517,4	237,2	178,7	496,9	1430,2		
1998	697,5	166,9	168,3	354,4	1387,1		
1999	699,4	226,9	124,1	187,8	1238,2		
2000	844	36,8	234,8	637	1752,6		
2001	492,1	160,9	138,7	532,1	1323,8		
2002	683,5	124,5	164,8	479,9	1452,7		



2003	536,8	132,6	73,8	325,7	1068,9		
2004	638,1	349,5	128,7	623,6	1739,9		
2005	568,3	280,4	168,8	444,1	1461,6		
2006	731,1	79,2	200,5	567,1	1577,9		
2007	605,2	157,9	165,3	416,1	1344,5		
2008	556,5	236	131,2	514,7	1438,4		
2009	699,7	150,1	453	580,9	1883,7		
2010	1194,8	224,2	190	516,4	2125,4		
Média 1940 a 2010	620,1	197,6	159,2	441,9	1419,0		

Tabela 02 – Totais Pluviométricos (mm) anuais e sazonais – 1940 a 2010 e anos de ocorrência do El Niño e La Niña com suas respectivas intensidades Fonte: Estação Meteorológica do IAG/USP. Organização: autores.

3.1 – Análise da variabilidade e da tendência

A análise sazonal dos dados evidencia uma maior quantidade de detalhes. Os gráficos abaixo demonstram as diferenças entre os totais pluviométricos registrados na respectiva estação do ano e seu valor médio. A linha de tendência também foi inserida.

No verão foram constatados três períodos distintos: um inicial (1940 a 1964), com maior frequência de valores abaixo da média; o segundo (1965 a 1984), no qual ocorre alternância de anos com valores positivos e negativos; e o último período (1985 a 2010), em que predomina valores acima da média (gráfico 01).

Para a estação do outono, foram registrados os seguintes períodos: o primeiro (1940 a 1955), no qual ocorre maior quantidade de valores abaixo da média; o período intermediário (1956 a 1991) que apresentou oscilações positivas e negativas; e o terceiro período (1992 a 2010), no qual novamente predominaram valores negativos (gráfico 02).

O inverno, em contrapartida, apresentou apenas duas fases: a primeira, (1940 a 1963), com maior frequência de valores abaixo da média; e a segunda (1964 a 2010), com um período oscilando entre valores positivos e negativos (gráfico 03).

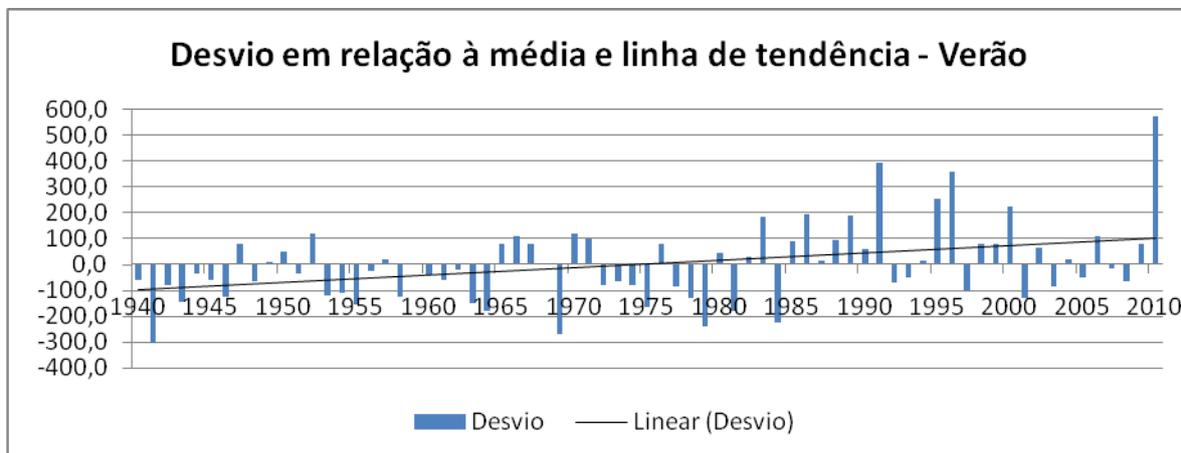


Gráfico 01 – Desvio em relação à média e linha de tendência da precipitação entre os anos de 1940 e 2010 para a estação de verão
Fonte: Estação Meteorológica do IAG/USP. Organização: autores.

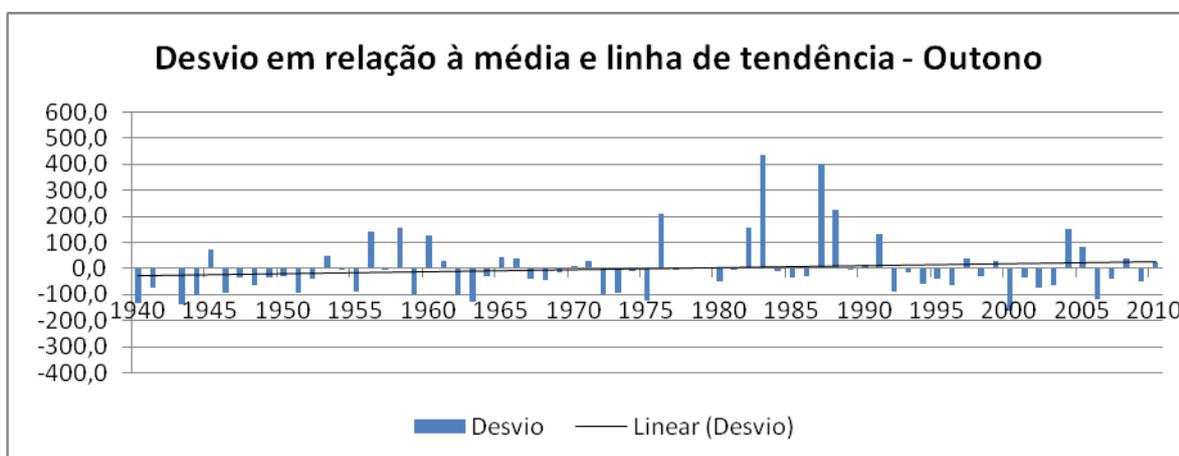


Gráfico 02 – Desvio em relação à média e linha de tendência da precipitação entre os anos de 1940 e 2010 para a estação do outono
Fonte: Estação Meteorológica do IAG/USP. Organização: autores.

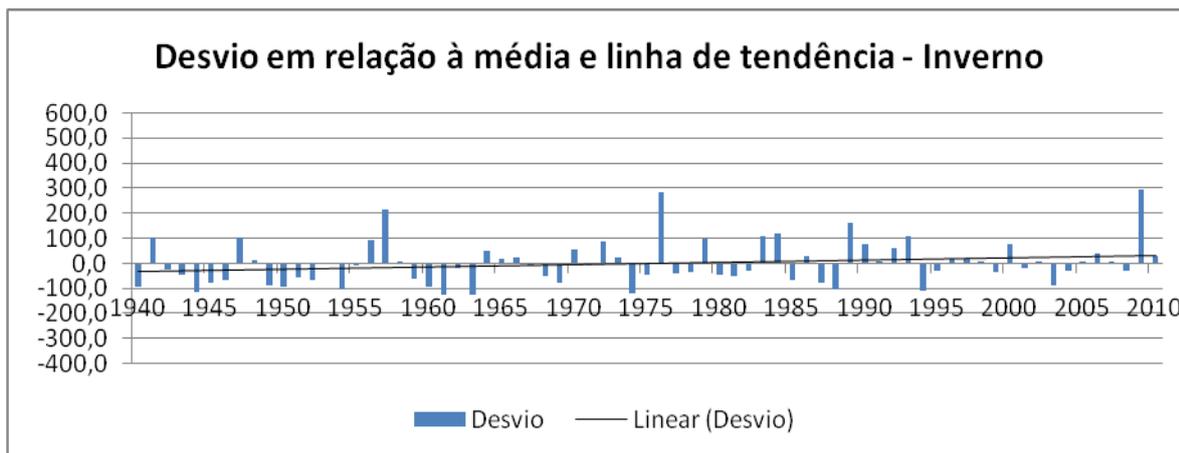


Gráfico 03 – Desvio em relação à média e linha de tendência da precipitação entre os anos de 1940 e 2010 para a estação do inverno

Fonte: Estação Meteorológica do IAG/USP. Organização: autores.

Para a estação da primavera três períodos distintos foram encontrados: o primeiro (1940 a 1956), que apresentou maior quantidade de valores abaixo da média; o segundo (1957 a 1983), no qual houve maior frequência de valores acima da média; e o último (1984 a 2010), que apresentou grande variação entre valores positivos e negativos (gráfico 04).

Por fim, em relação aos valores anuais, foram registrados três diferentes períodos: o primeiro (1940 a 1956), no qual foi possível notar uma maior frequência de registros com valores negativos; o intermediário (1957 a 1985), com alternância de valores abaixo e acima da média; e o último período (1986 a 2010), que possui maior predomínio de anos com valores positivos (gráfico 05).

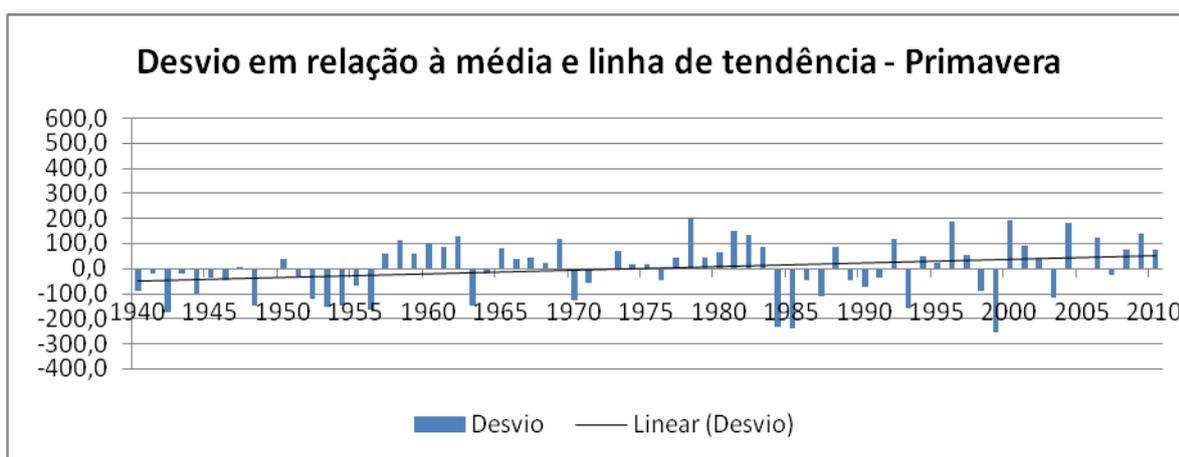


Gráfico 04 – Desvio em relação à média e linha de tendência da precipitação entre os anos de 1940 e 2010 para a estação da primavera

Fonte: Estação Meteorológica do IAG/USP. Organização: autores.

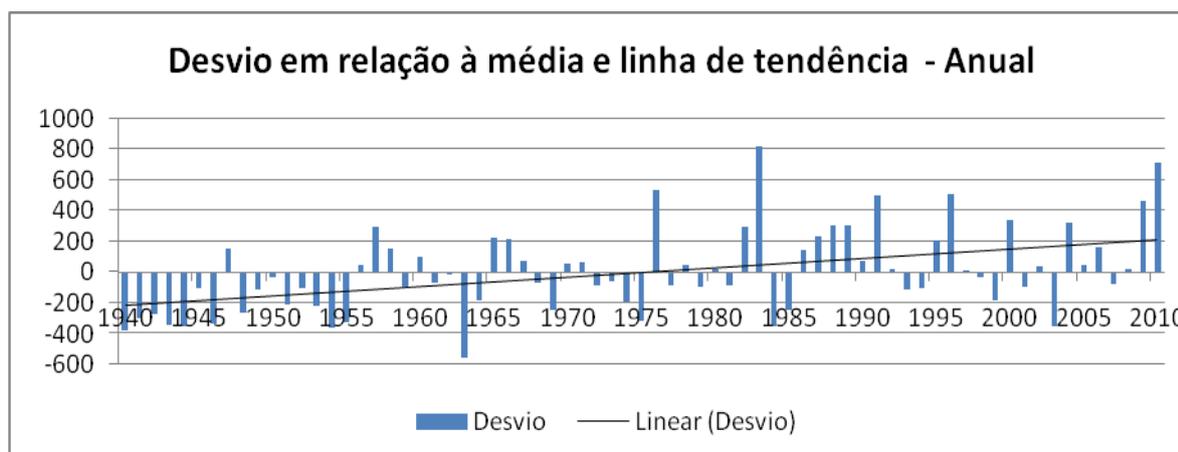


Gráfico 5 – Desvio em relação à média e linha de tendência da precipitação entre os anos de 1940 e 2010

Fonte: Estação Meteorológica do IAG/USP. **Organização:** autores.

3.2 – A influência do ENSO na variabilidade

Esta etapa da pesquisa teve como finalidade verificar se os registros pluviométricos tiveram relação, positiva ou negativa, com os fenômenos El Niño e La Niña.

Foi verificado que dos 43 anos com incidência de El Niño, quinze estações de verão apresentaram valores inferiores, dois valores superiores e vinte e seis habituais; no outono, foram vinte e sete anos com valores abaixo da média, dois com valores acima da média e quatorze habituais; para o inverno, foram encontradas dezessete ocorrências de registros negativos, três com registros positivos e vinte e quatro habituais; na primavera, foram registrados quatro anos com chuva abaixo da média, onze com chuva acima da média e vinte e oito habituais; quanto ao período anual, verificaram-se dois anos muito acima da média, três acima, seis abaixo, dois muito abaixo e trinta habituais.

O fenômeno La Niña incidiu em 27 anos da série histórica. No verão verificou-se a ocorrência de nove anos com valores inferiores, um ano com valor superior e dezessete habituais; quanto à estação do outono, foram constatados dezesseis anos com registros abaixo da média, um acima e dez habituais; quanto ao inverno, há ocorrência de doze registros negativos, um positivo e quatorze habituais; para a primavera, ocorreram quatro anos com chuva abaixo da média, quatro acima da média e 19 habituais; por fim, para o período anual, verificou-se um ano muito acima da média, um acima, seis abaixo e um muito abaixo da média.



4 – Conclusões

A partir da análise da variabilidade notou-se que para todas as sações e registros anuais, com exceção do inverno, foram evidenciados três períodos diversos na série. O comportamento dos verões e dos totais anuais foi semelhante, inicialmente com um período com maior quantidade de valores abaixo da média, outro sem predomínio de valores positivos ou negativos e um período com quantidade de valores acima da média. O inverno foi a única estação com dois períodos: o primeiro com maior quantidade de valores abaixo da média e outro com oscilação de período positivos e negativos.

Para todos os registros a reta de tendência dos mínimos quadrados foi positiva. Destacam-se os períodos do verão e anual, que apresentam maior inclinação, provavelmente decorrente dos anos com precipitação acima da média ocorridos a partir da década de 80.

O processo de urbanização desencadeia a formação de ilhas de calor, que gera maior evaporação e, como consequência, aumento da ocorrência de tempos instáveis, gerando precipitações, uma possível causa do aumento dos totais pluviométricos.

Ao se correlacionar os registros da quantidade das chuvas com os anos de incidência dos fenômenos El Niño e La Niña observou-se que não há relação positiva ou negativa. Para isso podem-se citar algumas ocorrências como o ano de 1983, com o maior valor da série, sob influência do fenômeno El Niño e o ano de 1976, com o terceiro maior registro, com a incidência do fenômeno La Niña. O segundo ano menos chuvoso, 1940, esteve sob a influência de forte El Niño, enquanto em 1954 foi registrado o terceiro ano menos chuvoso durante um período de forte La Niña. Assim, não se pode assinalar padrão característico de alteração das chuvas, pois há anos mais ou menos chuvosos tanto com incidência de El Niño como La Niña. Este fato corrobora a afirmação de Cavalcanti (2009), que indica que há significativa variabilidade intereventos, em razão das diferenças nas anomalias de TSM no oceano Pacífico de um evento para outro.

Silva (2000) destaca a relação entre o El Niño e a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), que é formada por uma linha de confluência de orientação noroeste-sudeste. Quando em fase madura (entre dezembro e janeiro), o ENSO reforça o sistema estacionário sob a influência do ZCAS, produzindo chuvas contínuas.

Assim, este trabalho procurou trazer maior compreensão da variabilidade da precipitação no município de São Paulo, bem como as possíveis relações com os fenômenos El Niño e La Niña e contribuiu para os estudos em Climatologia.



5 – Referências bibliográficas

- AYOADE, J. O. **Introdução à climatologia para os trópicos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2010.
- CAVALCANTI, I. F. A. **Tempo e Clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.
- CPTEC/ INPE. El Niño e La Niña. Disponível em: <<http://enos.cptec.inpe.br/>>. Acesso em: 23 Mai. 2014.
- EL Niño e La Niña**. Disponível em <<http://enos.cptec.inpe.br/>>. Acesso: 23 Mai. 2014.
- Informações sobre as Estações do Ano na cidade de São Paulo**. Disponível em <<http://www.estacao.iag.usp.br/seasons/index.php>>. Acesso: 02 Jun. 2013.
- MENDONÇA, F. **Clima e criminalidade: ensaio analítico da correlação entre a temperatura do ar e a incidência da criminalidade urbana**. Curitiba: Editora da Universidade Federal do Paraná – UFPR. 2001.
- MENDONÇA, F., DANNI-OLIVEIRA, I. M. **Climatologia: noções básicas e climas do Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.
- MOLION, L. C. B. ENOS e o Clima no Brasil. **Ciência Hoje**, São Paulo, v. 10, n. 58, p. 22-29, 1989.
- PIVETTA, M. Da Garoa à Tempestade. **Pesquisa FAPESP**, [S.I.], Maio 2012.
- SILVA, J. F. **El Niño, o Fenômeno Climático do Século**. Brasília: Thesaurus, 2000.
- ZAVATTINI, J. A. **Climatologia Geográfica: Teoria e Prática de Pesquisa**. Campinas: Alínea, 2013.