

Influência dos eventos El Niño na distribuição das chuvas na cidade do Rio de Janeiro

Influences of El Niño on the distribution of rainfall in the city of Rio de Janeiro

Rafaela Quintella Veiga*, Andrews José de Lucena**, Henderson Silva Wanderley***

*Programa de Pós-Graduação em Geografia - Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), rafaquinveiga@gmail.com

**Programa de Pós-Graduação em Geografia – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), lucenageo@yahoo.com.br

***Departamento de Ciências Ambientais - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), henderson@ufrrj.br

<http://dx.doi.org/10.5380/raega.v53i0.73975>

Resumo

O fenômeno El Niño-Oscilação Sul (ENOS) é uma anomalia relacionada a interação oceano-atmosfera e impacta o clima de diversas áreas do mundo, inclusive no Brasil. Esse trabalho analisa o padrão da distribuição da chuva na fase quente do ENOS, El Niño (EN), na Cidade do Rio de Janeiro, em comparação com os Ciclos Neutros (ausência do fenômeno). Utilizaram-se dados trimestrais de chuva de 12 estações (Campo Grande, Santa Cruz, Grota Funda, Penha, Itanhangá, Barrinha, Jardim Botânico, Tijuca, Copacabana, Rocinha, Recreio dos Bandeirantes e Ilha do Governador) provenientes do sistema Alerta Rio da Prefeitura do Rio de Janeiro. A definição dos Ciclos de EN baseou-se no ONI (*Oceanic Niño Index*), que foram: 1997/98, 2009/10 e 2015/16, já os Ciclos Neutros privilegiou-se a proximidade temporal, assim foram: 2001/02, 2012/13, 2013/14. Usou-se dois softwares: a Planilha Excel 2010 e o *R Project for Statistical Computing*. Foram elaborados gráficos de barra, *Boxplots*, Dendrogramas e tabelas referente a Correlação Linear. Os principais resultados encontrados são que os maiores acumulados trimestrais de chuva e os maiores picos ocorreram no Ciclo EN do que no Ciclo Neutro. No entanto, não foi observada significância estatística na distribuição das chuvas entre anos de El Niño comparado ao de Neutralidade.

Palavras-chave: El Niño-Oscilação Sul; Pluviosidade; Estações de superfície.

Abstract

The El Niño-South Oscillation (ENOS) phenomenon is an anomaly related to ocean-atmosphere interaction and impacts the climate of several areas of the world, including Brazil. This work analyzes the pattern of rain distribution in the hot phase of ENOS, El Niño (EN), in the City of Rio de Janeiro, in comparison with the Neutral Cycles (absence of the phenomenon). Quarterly rain data from 12 seasons (Campo Grande, Santa Cruz, Grota Funda, Penha, Itanhangá, Barrinha, Jardim Botânico, Tijuca, Copacabana, Rocinha, Recreio dos Bandeirantes and Ilha do Governador) from the Rio Alert system of the City Hall were used from Rio de Janeiro. The definition of the EN Cycles was based on the ONI (*Oceanic Niño Index*), which were: 1997/98, 2009/10 and 2015/16, while the Neutral Cycles favored temporal proximity, as follows: 2001/02, 2012/13, 2013/14. Two softwares were used: the Excel 2010 Spreadsheet and the *R Project for Statistical Computing*. Bar graphs, *Boxplots*, Dendrograms and tables related to Linear Correlation were created. The main results found are that the highest accumulated quarterly rainfall and the highest peaks occurred in the EN Cycle than

in the Neutral Cycle. However, there was no statistic significance in the distribution of rainfall between El Niño years compared to that of Neutrality.

Keywords: El Niño-South Oscillation; Rainfall; Surface Stations.

I. INTRODUÇÃO

A circulação atmosférica é de enorme variabilidade, exposta em seus padrões de sistemas sinóticos ocorrente em diversas escalas temporais (CAVALCANTI; AMBRIZZI, 2009, p.317). Dessa forma, o clima se diferencia em escalas de tempo e espaço, apresentando flutuações oriundas de distintos modos de interações entre os variados componentes do sistema climático somado a transformações dos fatores radioativos forçados (PABON apud BOCANEGRA; CAICEDO, 2000, p.8). Essas flutuações podem ser vistas como variabilidades climáticas atuantes em escalas estacionais, intraestacional, interanual e interdecadal.

As teleconexões propiciam um cenário da circulação atmosférica e da dinâmica climática em sua relação com os elementos e fatores do clima (CAVALCANTI; AMBRIZZI, 2009, p. 318). Concebem padrões climáticos segundo a escala e são geralmente analisadas nos oceanos Pacífico e Atlântico, sendo “identificadas em associação a forçantes atmosféricas e ou configurações dos mares ou influência na precipitação ou na composição, deslocamento e intensidade das células de circulação da atmosfera” (NASCIMENTO JUNIOR, 2017, p.106).

Ressalta-se que a variabilidade interanual, que se relaciona às variações do balanço global da radiação, tem no fenômeno ENOS (El Niño-Oscilação Sul) sua principal fonte. Esse fenômeno constitui-se por duas componentes: uma de natureza oceânica (El Niño/La Niña) e outra de natureza atmosférica, Oscilação Sul.

Nesse sentido, esse fenômeno é a expressão de instabilidade do sistema acoplado oceano-atmosfera, envolvendo alterações na Temperatura da Superfície do Mar (TSM), na pressão, no vento e na convecção tropical na região do Pacífico Equatorial. Apresenta duas fases: a fria chamada de La Niña (LN) e a quente como El Niño (EN), definido por meio do Índice da Oscilação da Pressão atmosférica e da TSM (GRIMM; FERRAZ; GOMEZ apud FERREIRA et al.; 2017, p.1).

Na região tropical sua circulação atmosférica é intensamente afetada por esses padrões termodinâmicos das bacias dos Oceanos Pacífico e Atlântico tropicais. Em anos com anomalias positivas ou negativas da Temperatura da Superfície nesses oceanos (ATSM), atuante no sentido meridional (latitudinal), e a célula de Walker, que opera no sentido zonal (longitudinal), são perturbadas, provocando anomalias na circulação atmosférica sobre os trópicos.

O aquecimento anômalo das águas do Oceano Pacífico Equatorial modifica a dinâmica normal da Célula de Walker (MENDONÇA; DANNI-OLIVEIRA, 2007, p.189), provocando alterações na precipitação (GRIMM et al., 2000, p.57), como eventos extremos de precipitação sobre a América do Sul (GRIMM; TEDESCHI, 2009, p.1383), e de outros elementos climáticos, como a temperatura; que modifica o padrão de chuvas na região tropical, principalmente entre junho e dezembro, com um aumento expressivo da precipitação ocorrente no Pacífico Tropical Central e Oriental, em oposição às chuvas abaixo da média nas regiões da Indonésia e Pacífico Tropical Ocidental, resultando em situação de seca e favorecendo a emergência de queimadas (OLIVEIRA, 1999, p.43).

No Brasil quando há ocorrência do EN, observa-se um decréscimo na média de chuvas em algumas partes da região Nordeste, na região Sul há chuvas acima do normal, apresentando uma primavera mais chuvosa (CUNHA et al., 2011, p.3). Na região Sudeste, o período de EN apresenta como característica aumento na temperatura do ar, como observado por Wanderley, Fernandes e de Carvalho (2019, p.1298), para a cidade do Rio de Janeiro, com aumento de 0,73 °C para a temperatura mínima e 0,90 °C para a máxima. Durante a estação chuvosa, o ENOS não mostra um impacto direto, todavia, sabe-se que o EN diminui a ação da ZCAS (Zona de Convergência do Atlântico Sul). No entanto, para a cidade do Rio de Janeiro não se tem essa compreensão com relação a distribuição das chuvas.

A cidade do Rio de Janeiro é um espaço de grande complexidade física. Apresenta contrastes marcantes na sua climatologia quando comparados os distintos bairros. Por conseguinte, este trabalho analisa a influência de três eventos de EN na distribuição das chuvas em diferentes espaços físicos da cidade do Rio de Janeiro.

II. MATERIAIS E MÉTODOS

Foram utilizados dados mensais de chuva (mm) coletados no sistema Alerta Rio (<http://alertario.rio.rj.gov.br/acumulados-mensais>), pertencente à Prefeitura da cidade do Rio de Janeiro, desde 1997 até 2016, de 12 estações meteorológicas. As estações escolhidas foram regionalizadas em quatro espaços: i) Zona Oeste 1: Campo Grande (CG), Santa Cruz (SC) e Grotta Funda (GF); ii) Zona Oeste 2: Itanhangá (ITG)/Barrinha (BRR) e Recreio; iii) Zona Norte: Ilha do Governador (IG), Penha e Tijuca; iv) Zona Sul: Rocinha, Jardim Botânico (JB) e Copacabana (copa) (Figura 1).

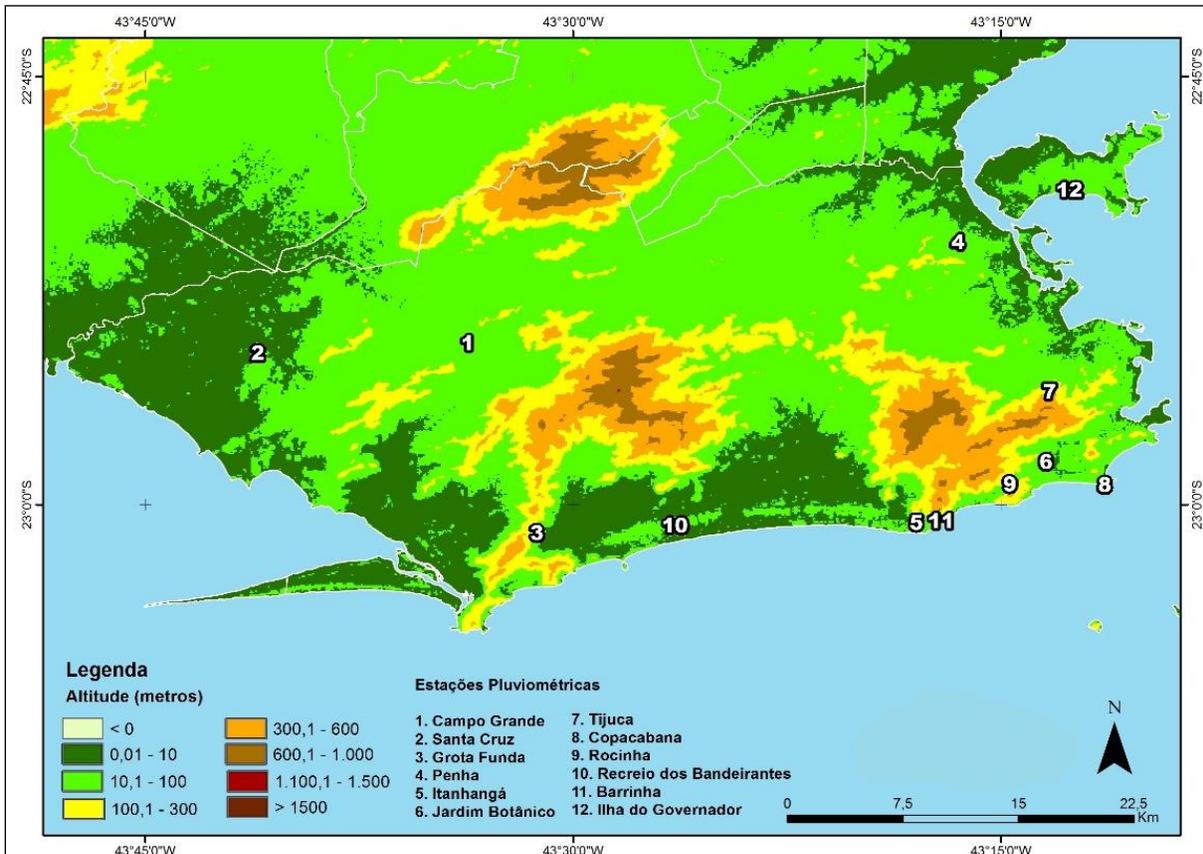


Figura 1: Localização das estações pluviométricas da cidade do RJ.

Fonte: Sistema Alerta Rio e DataRio – Prefeitura do RJ

Para a seleção das estações meteorológicas foram consideradas: i) estações sem dados faltosos na escala temporal trabalhada; ii) estações que representassem a maior parte da área geográfica da cidade do Rio de Janeiro para que atinja a compreensão da distribuição da chuva conforme sua paisagem fisiográfica.

Referente aos Ciclos tratados designam-se os Ciclos EN os períodos temporais que sofrem influência do fenômeno ENOS na sua fase positiva, já os Ciclos Neutros equivalem aos períodos temporais com ausência do fenômeno ENOS. A definição dos Ciclos de EN baseia-se no *Oceanic Niño Index* (ONI) (<https://ggweather.com/enso/oni.htm>), seguindo os seguintes critérios: i) Os Ciclos de EN a partir de 1997, uma vez que os dados fornecidos pela Prefeitura do RJ são disponibilizados a partir desse ano; ii) Os Ciclos EN que apresentavam intensidades muito forte e moderado (Niño 97/98 muito forte; 09/10 moderada e 15/16 muito forte) iii) Os Ciclos Neutros foram escolhidos segundo a proximidade temporal dos Ciclos EN a fim de facilitar a comparação.

O ONI se tornou um padrão de identificação dos eventos ENOS no Pacífico Tropical pela Administração Oceânica e Atmosférica Nacional (NOAA). A anomalia é baseada na média de três meses da TSM para o Niño

3.4 (5°N-5°S,120°W-170°W), região que possui maior correlação entre o Índice Oscilação Sul e a TSM. Seguindo a metodologia usada pela NOAA de Classificação de EN, os Ciclos de EN escolhidos foram: 1997/98, 2009/10 e 2015/16; e Ciclos Neutros: 2001/02; 2012/13; 2013/14.

Posterior a seleção e coleta dos dados, foram organizados em Planilha Excel 2010. De acordo com o padrão ONI, os dados mensais foram agrupados em trimestres e separados por Ciclos EN e Neutros de cada estação pluviométrica selecionada. Para analisar a quantidade de chuvas trimestrais e comparar os Ciclos, optou-se por gráficos de barra por estação pluviométrica. Esses gráficos foram elaborados pelo programa Microsoft Planilha Excel 2010. Para a análise estatística foram adotados: *Boxplot*; Análise de Agrupamento (*Clusters*) e Coeficiente de Correlação Linear (Pearson). Todos esses produtos estatísticos foram realizados no *The R Project for Statisticam Computing, R*, que é um software livre para computação estatística e gráfica.

Os boxplots são um recurso gráfico para sintetizar e analisar dados quantitativos, evidenciando medidas centrais não-paramétricas (medianas), de dispersão (quartis), forma de distribuição ou simetria da amostra (valores pontuais mínimos e máximos), valores extremos (*outliers*). Em relação a Análise de Agrupamento (ou Análise de *Clusters*) permite uma análise exploratória com o fim de agrupar os elementos das amostras (estações pluviométricas) que possuem características (valores das variáveis, a chuva, especificamente) semelhantes. O intuito é agrupar os objetos em classes de forma que objetos similares fiquem na mesma classe, encontrando verdadeiros grupos que se presume que existam realmente.

Foi empregada a técnica hierárquica que produz dendrogramas, recurso que estrutura determinados fatores e variáveis, se assimila aos ramos de uma árvore se dividindo em outros sucessivamente. Os grupos são formados por processo de aglomeração ou divisão, em que todos os objetos (neste caso, as estações pluviométricas) começam sozinho em grupos de um, depois grupos próximos são gradativamente fundidos até que, por fim, todos os objetos estão em um mesmo grupo (MANLY, 2008, p.139). As medidas de distância efetuadas representam a similaridade que evidencia a proximidade entre as observações ao longo das variáveis. Assim, foram produzidos seis dendrogramas, três referentes aos Ciclos EN e os outros três para os Ciclos Neutros. Usou-se a distância Euclidiana (MANLY, 2008, p.144), geralmente a mais aplicada ao tratar das variáveis quantitativas, dada pela equação:

$$d_E = \sqrt{\sum_{j=1}^p (x_{ij} - x_{kj})^2}$$

Onde: d_E = Distância Euclidiana; x_{ij} e x_{kj} são variáveis quantitativas i e j dos indivíduos p e k, respectivamente.

Finalmente, foi efetuado o Coeficiente de Correlação de Pearson, “uma medida de associação bivariada (força) do grau de relacionamento entre duas variáveis” (GARSON apud FILHO; JUNIOR, 2009, p.118) que “mensura a direção e o grau da relação linear entre duas variáveis quantitativas” (MOORE apud FILHO; JUNIOR, 2009 p.118). É uma medida estatística de associação linear entre variáveis. Apresenta a seguinte equação:

$$r = \frac{1}{n-1} \sum \left(\frac{x_i - \bar{X}}{S_x} \right) \left(\frac{y_i - \bar{Y}}{S_y} \right)$$

A equação pressupõe que o aumento ou decréscimo de uma unidade na variável X provoca o mesmo efeito em Y, que graficamente a mesma forma de ilustrar essa relação é por meio de uma linha reta (r = coeficiente de correlação). O coeficiente varia de -1 a 1, os sinais indicam direção positiva ou negativa e o valor traduz a força da relação entre as variáveis. Uma correlação perfeita (-1 ou +1) equivale a um escore de uma variável que pode ser definido precisamente ao se saber o escore da outra. Numa correlação nula (valor 0) corresponde a não existência de uma relação linear entre as variáveis. Todavia, os valores extremos (0 ou 1) são raramente encontrados na prática. Por isso, há intervalos de magnitude dos coeficientes para interpretar valores que fogem dos valores extremos (FILHO; JUNIO, 2009, p.119).

Segundo Dancey e Reidy (2006, p.220), a classificação de magnitude dos coeficientes é: $r = 0,10$ até $0,30$ (fraco); $r = 0,40$ até $0,6$ (moderado); $r = 0,70$ até 1 (forte). Independente do sinal, quanto mais próximo de 1 representa maior grau de dependência estatística linear entre as variáveis, de modo contrário, quanto mais perto de zero, menor é a força dessa relação. Para os coeficientes obtidos foi realizado o teste de significância estatística, adotando como hipótese nula (H_0) ausência de correlação a 95% de probabilidade.

Primeiro, foram feitas as correlações entre as estações pluviométricas dos Ciclos EN e dos Ciclos Neutros, com a finalidade de analisar a presença de alguma correlação na distribuição da chuva quando há ocorrência e ausência do evento EN. A proximidade temporal foi priorizada, assim os segmentos definidos foram: 1. 97/98 (Ciclo EN) com 01/02 (Ciclo Neutro); 2. 09/10 (Ciclo de EN) com 12/13 (Ciclo Neutro); 3. 15/16 (Ciclo de EN) com 13/14 (Ciclo Neutro).

E, por segundo, as correlações entre as intensidades de EN com o propósito de observar a distribuição da chuva nesses períodos, assim divididas: 1. 97/98 (EN de intensidade forte) com 15/16 (EN de intensidade

forte); 2. 97/98 (EN de intensidade forte) com 09/10 (EN de intensidade moderado); 3. 15/16 (EN de intensidade forte) com 09/10 (EN de intensidade moderado).

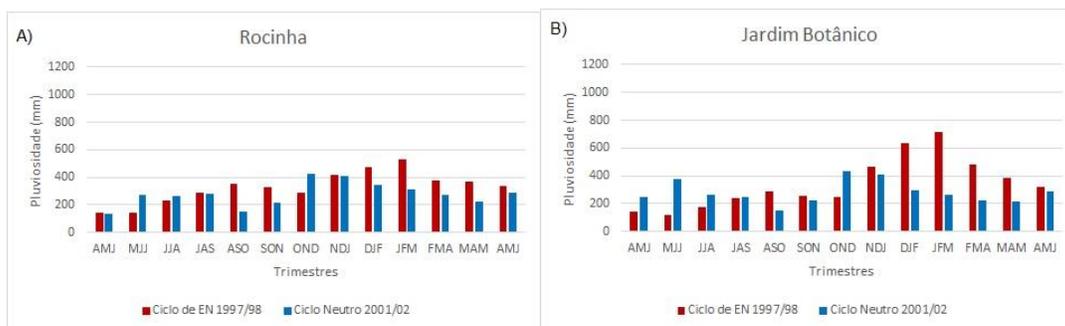
III. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os totais de chuva

Ciclo EN 97/98 e Ciclo Neutro 01/02

Considerando o Ciclo EN, em todas as estações meteorológicas, estão os maiores totais trimestrais do que o Ciclo Neutro (Figura 2). Vale destacar os trimestres NDJ/DJF/JFM/FMA do Ciclo EN como os trimestres que tiveram os maiores aportes de chuva, evidenciando o período de verão. Pode-se associar esse grande acúmulo com o aumento da temperatura do ar ocorrente na região Sudeste durante o evento do EN, como analisado por Wanderley, Fernandes, de Carvalho (2019, p.1298). Também, como visto no trabalho de Minuzzi et al. (2006, p.7), pode-se analisar que o período chuvoso (OND-JFM) ocorrente no Ciclo EN se estende mais do que no Ciclo Neutro.

Referente ao Ciclo EN, a estação Tijuca representa a estação com o maior acumulado trimestral, alcançando máximo de 1161,4 mm (JFM). Isso se explica pela sua localização nas proximidades da encosta do maciço litorâneo da Tijuca, somado ao fator vegetação (Floresta da Tijuca) e a altitude da própria estação (cota de 340 m). A estação da GF também se destacou, com quase 1000 mm de chuva no trimestre JFM, também localizada nas proximidades de uma encosta, a barlavento, desta vez do Maciço da Pedra Branca. A estação com o mais baixo volume pluviométrico é a Penha, situada na baixada da Guanabara, uma das áreas mais urbanizadas da cidade do RJ, com um total de 341,2 mm (JFM).



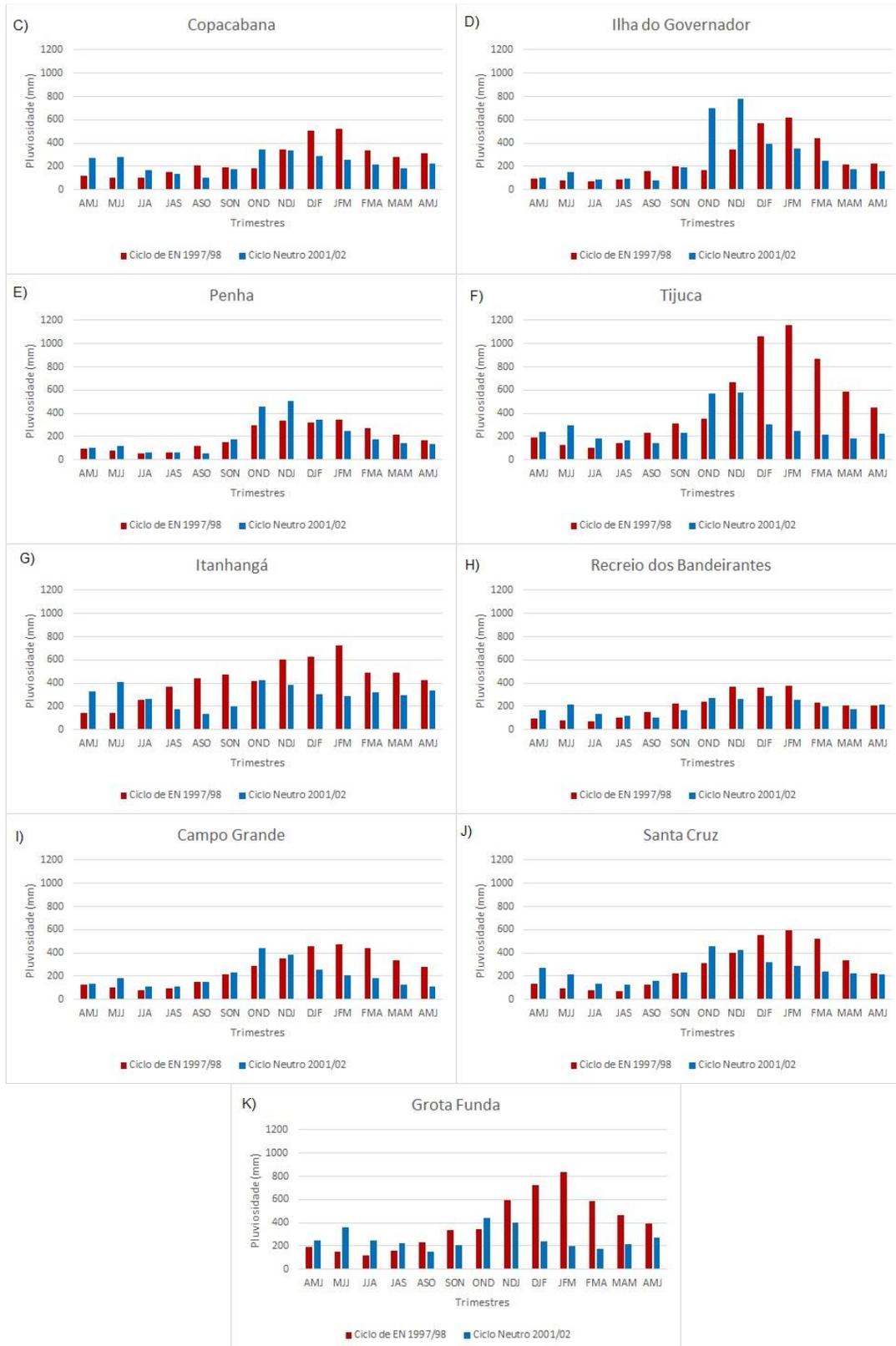
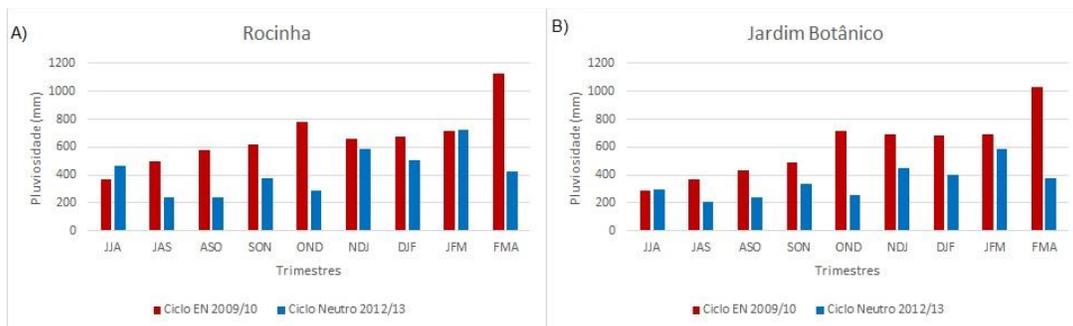


Figura 2: Distribuição de acumulados trimestrais de chuva 1997/98 – 2001/02

Ciclo EN 09/10 e Ciclo Neutro 12/13

Os acumulados trimestrais pluviométricos do Ciclo EN foram maiores que o Ciclo Neutro (Figura 3), principalmente, nos trimestres referentes ao segmento do verão (NDJ – JFM), com exceção das estações Campo Grande e Santa Cruz que apresentaram o Ciclo Neutro com maiores acumulados trimestrais. Destaque para o pico final de verão e início de outono, o trimestre FMA, em que na maioria das estações representou o maior pico. Nesse trimestre destaca-se abril como o mês de maior acumulado mensal, quando se observa o tardio término do período chuvoso do Ciclo. No período de inverno, há pouca diferença entre os Ciclos, tendo as estações da Penha, Tijuca e IG como aquelas com os acumulados trimestrais, JJA – ASO, no Ciclo EN superiores ao do Ciclo Neutro. Este quadro pode relacionar-se a temperaturas mais altas e resfriamento mais baixos no período do inverno em casos de EN (OLIVEIRA, 1999, p.42).

Referente ao Ciclo EN, ressaltam-se Rocinha, Jardim Botânico, Tijuca e Grota Funda como as estações de maiores acumulados trimestrais, localizadas nas encostas dos maciços (Tijuca e Pedra Branca), com grande massa de vegetação e influência de maritimidade (no caso, Rocinha). Em oposição, os mais baixos acumulados trimestrais são representados pela estação Recreio, Campo Grande e Penha, com ressalva de Recreio, tanto Campo Grande quanto Penha equivalem áreas bastante urbanizadas e sem influência da maritimidade, em especial, Campo Grande situado em um vale encaixado entre dois maciços (Pedra Branca e Gericinó-Mendanha), e no caso de Penha, encontra-se na baixada da Guanabara a sotavento do Maciço da Tijuca. Em relação ao Ciclo Neutro, as estações que apresentaram os maiores picos de acumulados trimestrais foram Rocinha e Grota Funda, ambas próximas das encostas. Vale salientar os picos pluviométricos do trimestre JFM nas estações Tijuca (795,2 mm), Rocinha (723,6 mm) e Grota Funda (715 mm). Já as estações que possuíram os acumulados mais baixos foram Penha e Ilha do Governador.



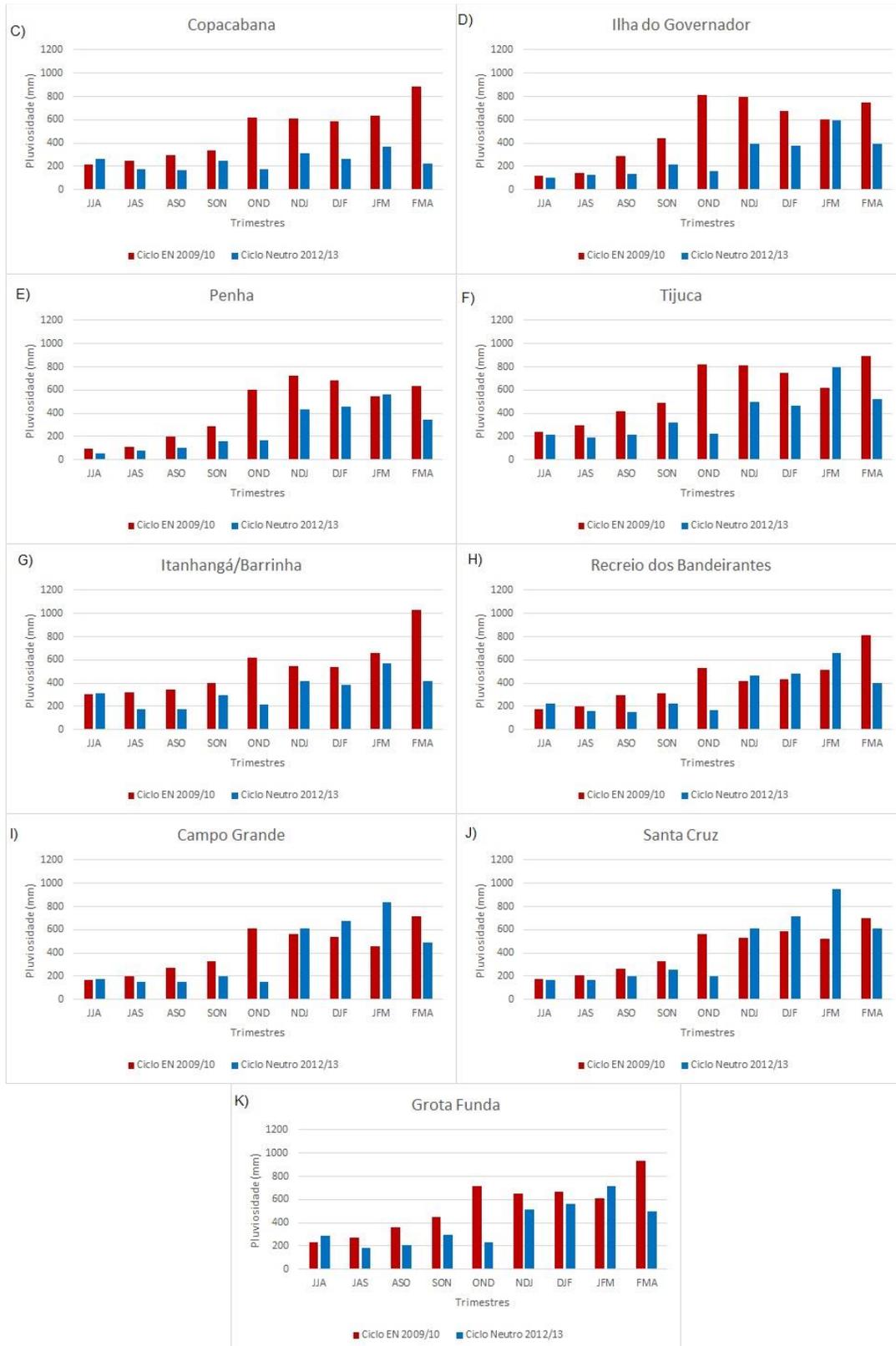
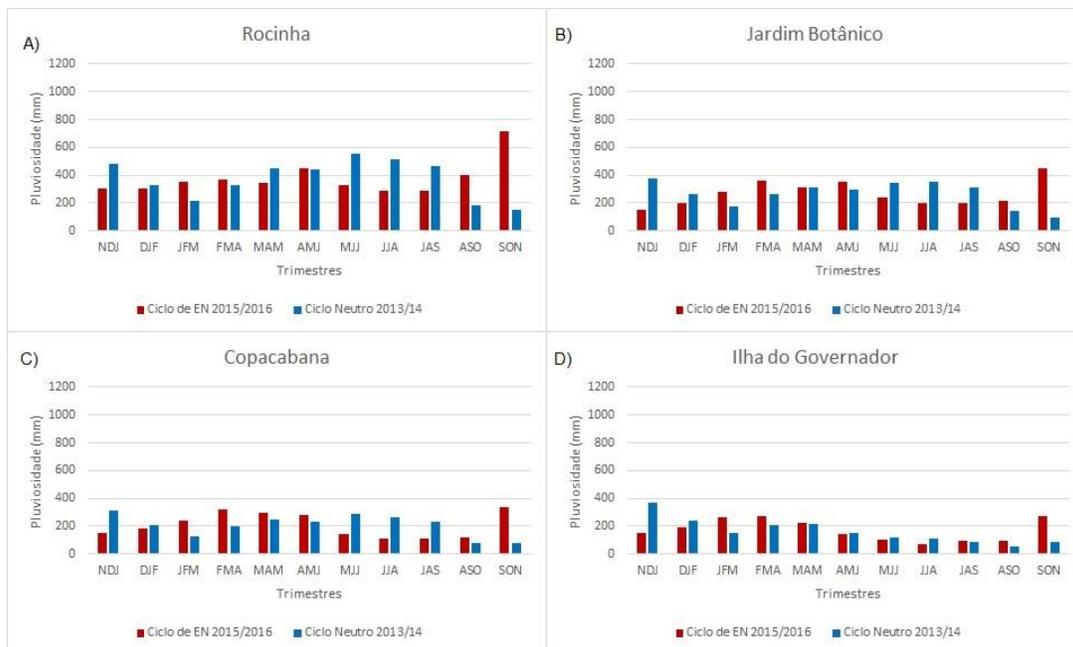


Figura 3: Distribuição de acumulados trimestrais de chuva 2009/2010 – 2012/2013

Ciclo EN 15/16 e Ciclo Neutro 13/14

Em ambos os Ciclos, os maiores totais acumulados trimestrais são NDJ/DJF/JFM/FMA, ressaltando o final da primavera e o verão (Figura 4). Destaca-se o Ciclo EN, em todas as estações, os maiores acumulados trimestrais (ASO/SON), enfatizando o início do período chuvoso mais intenso. Referente ao Ciclo EN, é observado que houve concentração de chuvas em três estações: Rocinha, Grota Funda e Barrinha, que podem se associar aos fatores físicos dominantes, como a posição a barlavento dos maciços e, no caso da Rocinha e Barrinha, a influência da umidade do litoral.

Referente ao Ciclo Neutro, a estação Rocinha, mesmo em período mais seco, outono/inverno, mostra picos acima de 500 mm (MJJ com 558,6 mm; JJA com 511,8 mm). As estações mais secas foram Campo Grande e Penha. Este Ciclo Neutro foi considerado atípico, mais seco, por conta do sistema anômalo de alta pressão sobre o oceano Atlântico adjacente à região Sudeste, bloqueando a atuação dos sistemas frontais, favorecendo a manutenção do aquecimento oceânico através de incidência da radiação solar, desfavorecendo a formação ZCAS (COELHO et al., 2016, p.58).



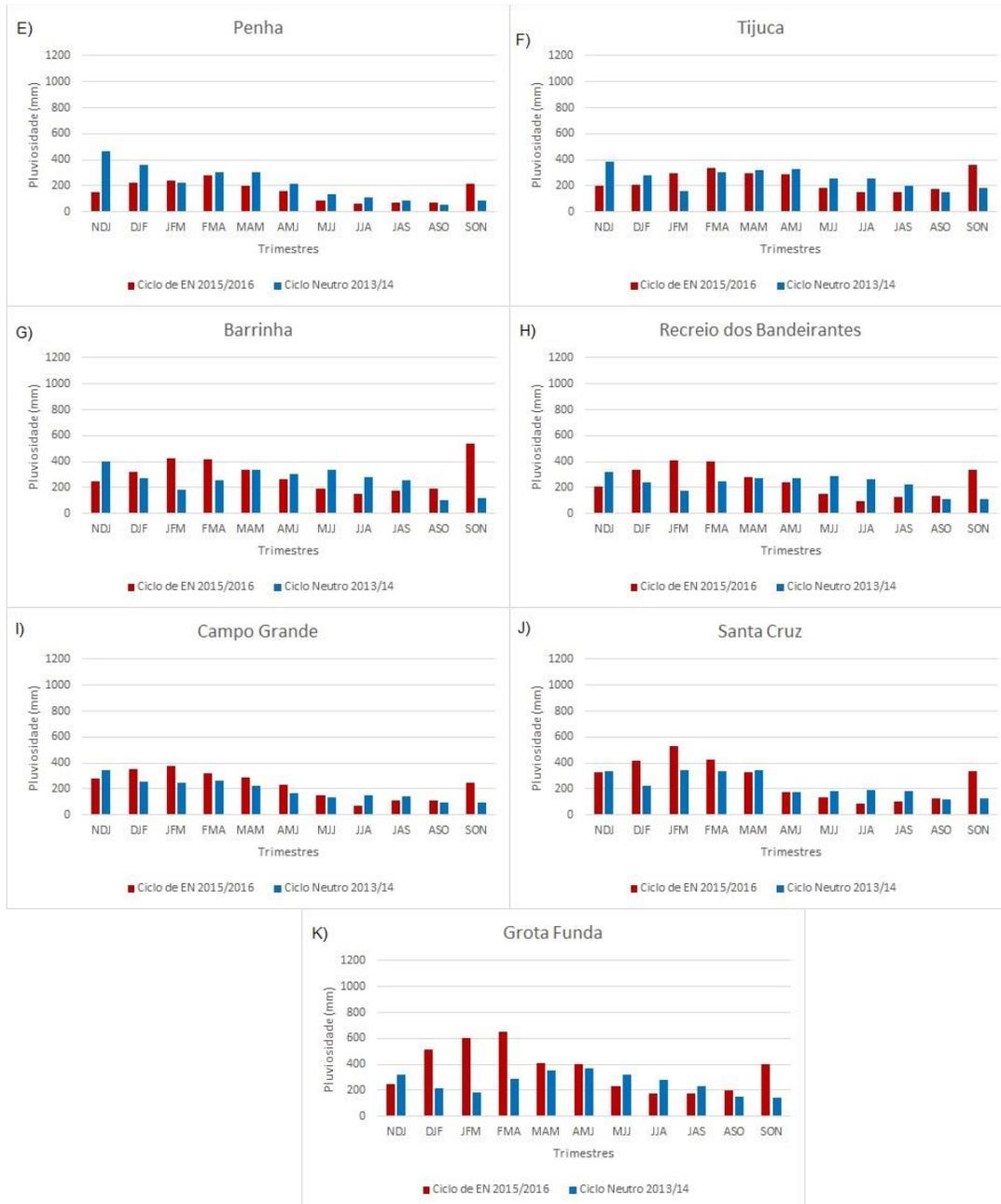


Figura 4: Distribuição de acumulados trimestrais de chuva 2015/16 – 2013/2014

Distribuição das chuvas

Ciclo EN 97/98 e Ciclo Neutro 01/02

Há uma maior dispersão dos dados de chuva no Ciclo EN (A) do que o Ciclo Neutro (B), apresentando maiores máximos acumulados trimestrais (Figura 5). Durante o Ciclo Neutro, em seus acumulados trimestrais, todas as estações mostram as chuvas com uma melhor distribuição em relação ao Ciclo EN.

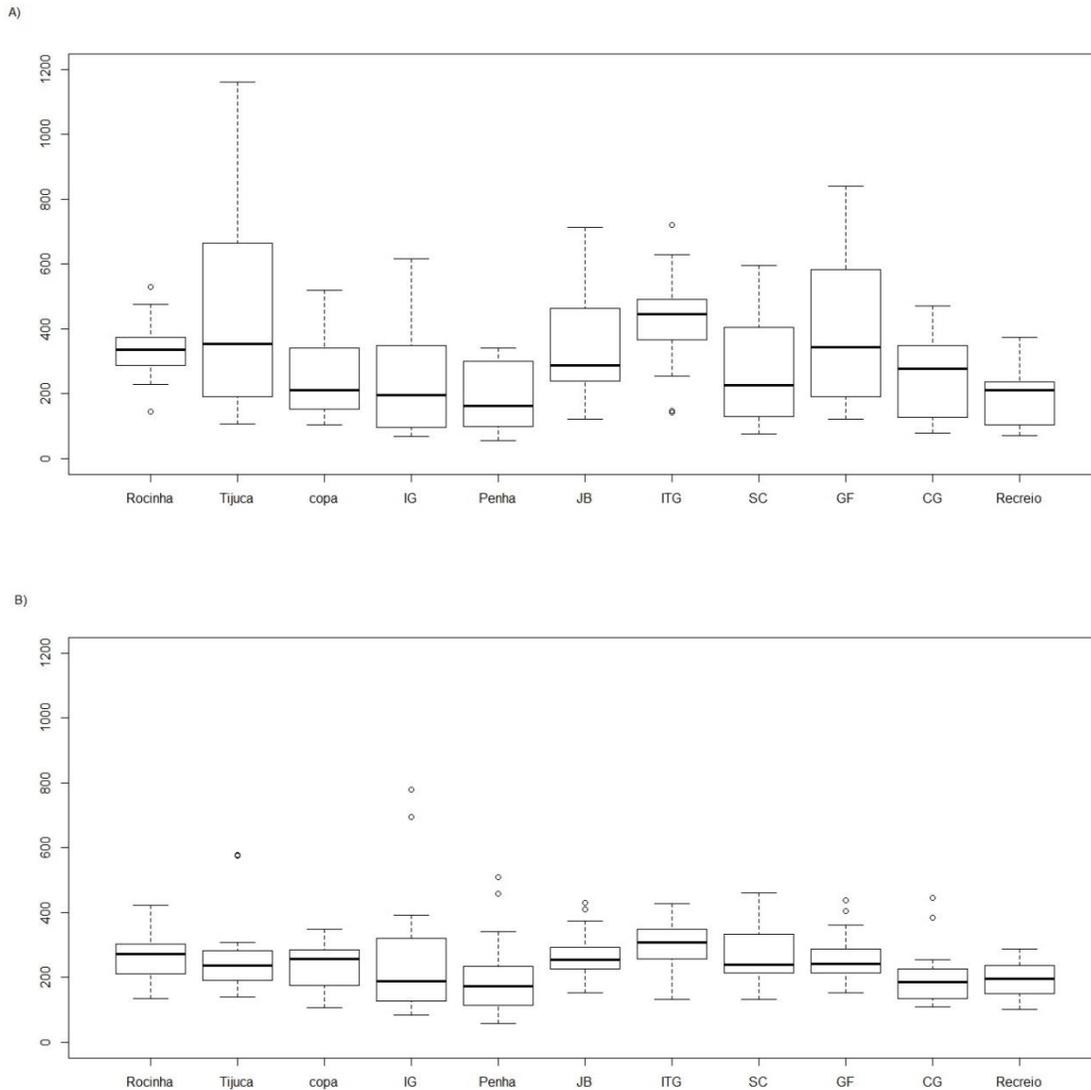


Figura 5: Distribuição trimestral de chuva por meio de *boxplot* 97/98 (A) – 01/02 (B)

Legenda: copa=Copacabana/ IG=ilha do Governador/ JB=Jardim Botânico / ITG=Itanhangá / SC=Santa Cruz / GF=Grota Funda / CG=Campo Grande

Referente ao Ciclo EN (A), a estação da Rocinha é a mais simétrica, com valores de média (328,6 mm) e mediana (335,5 mm) muito próximos, também possui menor dispersão dos acumulados. Há *outliers* de 530,6 mm (JFM) e 144,1 (AMJ) e, mesmo com a pequena dispersão dos dados trimestrais os seus acumulados são altos (posição da caixa do *boxplot*), que se deve à localização à barlavento do Maciço, de cota de 160 m, e a proximidade ao mar. Em contraste, a estação Penha (área mais urbanizada), que apesar de possuir maior dispersão, apresenta acumulados inferiores. A mesma possui uma assimetria positiva dos dados, a média (193,5

mm) é maior que a mediana (163,7 mm). Junto com a Estação Penha, as estações Recreio e Ilha do Governador, mesmo com influência da maritimidade, possuem acumulados inferiores. Tijuca e Grota Funda se apresentam como as estações com maior dispersão dos acumulados trimestrais, entre 106,2 mm – 1161,4 mm e 121 mm – 839,6 mm, respectivamente.

Referente ao Ciclo Neutro destacam-se as seguintes estações com mais *outliers*: Tijuca – 577 mm (NDJ), Ilha do Governador – 779,2 mm (NDJ) e 696 mm (OND), Penha – 509,2 mm (NDJ) e 459,2 mm (OND), Jardim Botânico – 431,4 mm (OND) e 410,6 mm (NDJ), Grota Funda – 438,4 mm (OND) e 404,2 mm (NDJ) e Campo Grande – 445 mm (OND) e 385 mm (NDJ). Destas, Tijuca e Penha mostram simetria mais equilibrada, com valores de média (270 mm/201,8 mm) próximos da mediana (236 mm/173,2 mm), mas a média é induzida pelos *outliers*. Em especial, as estações Penha e Campo Grande abrangem os valores trimestrais mais baixos. De modo geral, todas as estações apresentam baixa dispersão dos acumulados (pouca variação) e baixos valores trimestrais. A estação que se contrasta um pouco deste padrão é a Ilha do Governador, de assimetria positiva com média (272,5 mm) maior que a mediana (188,4 mm), mas considerando o valor mais robusto da mediana acerca da distribuição dos dados (a média está sendo manipulada pela presença dos *outliers*), mostra-se uma tendência para baixos valores trimestrais. Vale destacar que mesmo com a influência da baía de Guanabara na Ilha do Governador os valores trimestrais são baixos.

Ciclo EN 09/10 e Ciclo Neutro 12/12

No Ciclo de EN (A) há maior dispersão dos acumulados trimestrais pluviométricos ao Ciclo Neutro (B) – Figura 6. Naquele há dois *outliers* próximos à 1200 mm (Rocinha – 1129,4 mm/FMA; Itanhangá – 1032,4 mm/FMA), enquanto no Ciclo Neutro possui apenas um *outliers*, e de baixo valor (Copacabana - 434,4 mm).

No Ciclo EN, Rocinha representa a estação com menor dispersão dos dados trimestrais, porém a posição da caixa *boxplot* é elevada, com altos acumulados trimestrais (600 mm – 800 mm), que se devem a localização na encosta, a barlavento, somado a maritimidade. As estações Tijuca, Ilha do Governador e Penha representam aquelas com maior dispersão dos dados, sendo a Tijuca com uma disposição dos dados trimestrais mais simétricas (valor da média – 593,6 mm próximo da mediana – 621,2 mm) dentre as demais, isto é, o ponto central da distribuição dos dados quase coincide, sem valores que destoassem no conjunto de dados. As estações Ilha do Governador e Penha possuem uma assimetria negativa, a mediana (605,6 mm; 549,4 mm) maior que a média (513,5 mm; 432,1 mm), que possivelmente é induzido pelos valores trimestrais mais baixos.

A estação Penha se destaca por apresentar valores trimestrais mais baixos dentre as estações estudadas (posição da caixa do *boxplot* mais baixa em relação às demais e limite inferior mais acentuado), que se justifica por estar numa área mais urbanizada, na baixada da Guanabara. Nota-se que Copacabana e, sobretudo, Jardim Botânico, apresentam valores trimestrais maiores que Santa Cruz, muito provavelmente influenciada pela maritimidade no primeiro e pela encosta vegetada no segundo.

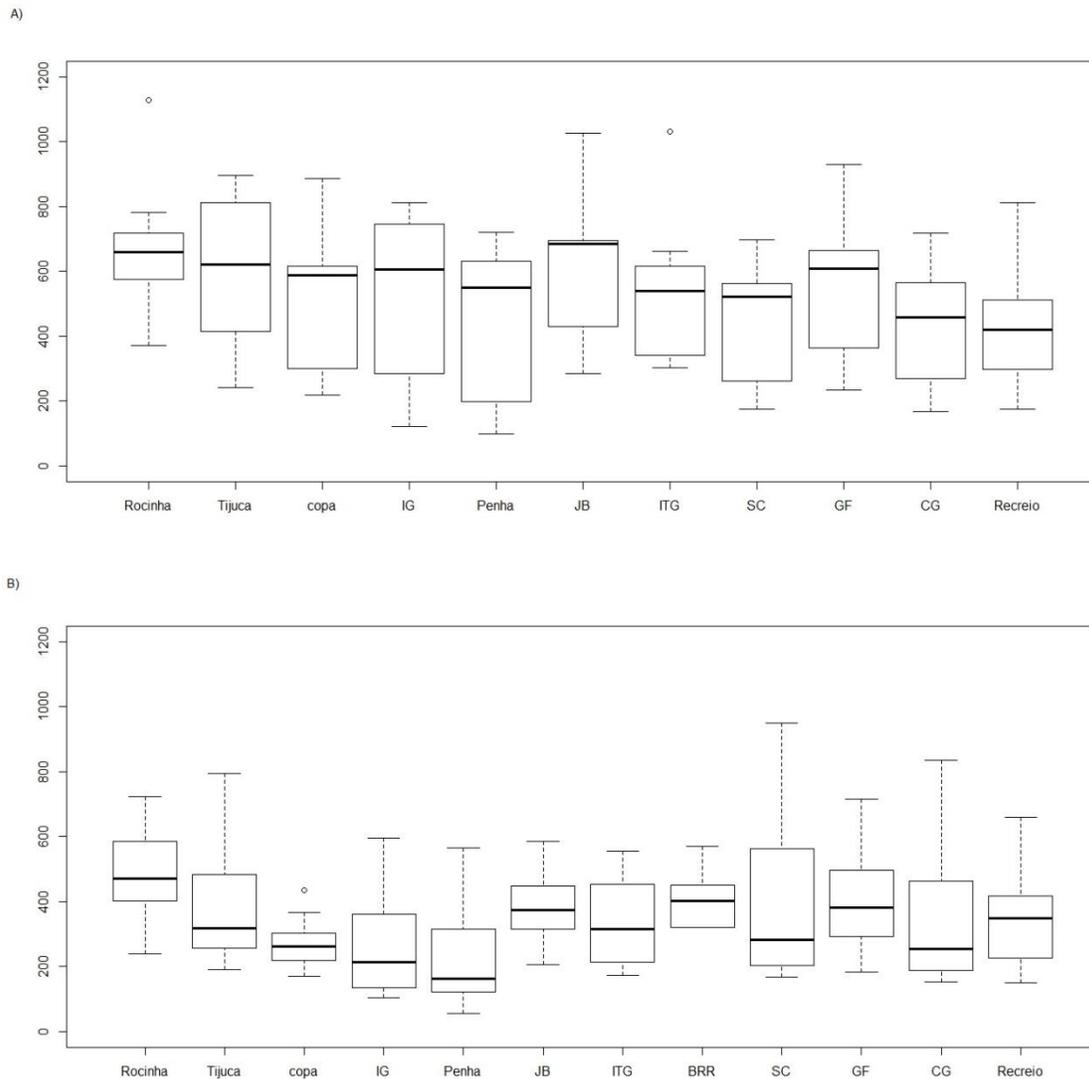


Figura 6: Distribuição trimestral de chuva por meio de *boxplot* 09/10 (A) – 12/13 (B)

Legenda: copa=Copacabana/ IG=ilha do Governador/ JB=Jardim Botânico / ITG=Itanhangá / BRR=Barrinha/ SC=Santa Cruz / GF=Grota Funda / CG=Campo Grande

No Ciclo Neutro, as estações Jardim Botânico e Grota Funda mostram dados bem simétricos nos valores da média (377,7 mm; 394,8 mm) e da mediana (374,8 mm; 382,6 mm). Diferentemente, Santa Cruz e Campo Grande representam as que possuem maior dispersão dos dados trimestrais. E, Campo Grande, junto com Ilha do Governador e, sobretudo, Penha, são aquelas com acumulados de chuva mais baixos, estações mais urbanizadas, um pouco mais distantes do aporte de umidade do mar e da própria floresta. As estações Rocinha, Jardim Botânico, Barrinha e Grota Funda agrupam valores trimestrais maiores, observado nas posições das caixas do *boxplot*, e representam os lugares que mais precipitaram que está condicionada pela localização na encosta do maciço, a vegetação e a maritimidade.

Ciclo EN 15/16 e Ciclo Neutro 13/14

O Ciclo EN (A) mostra maior dispersão dos acumulados trimestrais do que no Ciclo Neutro (B) – Figura 7. No Ciclo EN destacam-se as estações Rocinha e Tijuca que, além de apresentarem *outliers* (716,4 mm – SON; 692,6 mm – JFM), são as estações com os maiores acumulados de chuva. A estação Penha situa-se em posição mais baixa da caixa de *boxplot*, sendo assim, a estação com o menor acumulado. Seguindo-a, estão as estações Ilha do Governador e Campo Grande. As estações com assimetria positiva são: Campo Grande, Jardim Botânico, Rocinha, com os seguintes valores de média, 263,9 mm; 414,7 mm; 228,8 mm; 291,9 mm, e com os seguintes valores das medianas, 246,7 mm; 385,2 mm; 315,2 mm; 284 mm. É relevante ressaltar a diferença pluviométrica entre Recreio, Jardim Botânico e Campo Grande, observada tanto pelos valores da média e mediana quanto à posição da caixa do *boxplot*. Campo Grande é uma área urbanizada e espremida entre dois maciços, enquanto Jardim Botânico e Recreio sofrem influência da vegetação e da maritimidade, respectivamente.

No Ciclo Neutro, a estação Penha apresenta a maior dispersão e a estação Rocinha apresenta os maiores valores trimestral, demonstrado pela posição mais elevada da caixa do *boxplot*. Por outro lado, as estações Penha, Ilha do Governador e Campo Grande representam os valores mais baixos. Campo Grande e Santa Cruz apresentam assimetria positiva, isto é, os valores da média (203,6 mm; 230,3 mm) maiores que a mediana (174 mm; 191,2 mm), ressaltando que a média sofre influência dos valores mais altos trimestrais de chuva. Opostamente, Barrinha e Copacabana apresentam dados próximos da simetria, com valores de média de 267 mm e 215,6 mm, respectivamente, e de mediana 266 mm e 220,4 mm, respectivamente. A estação Recreio apresenta uma das menores amplitudes, logo a menor dispersão dos dados e uma assimetria negativa, obtendo a mediana (243,8 mm) maior que a média (230,5mm).

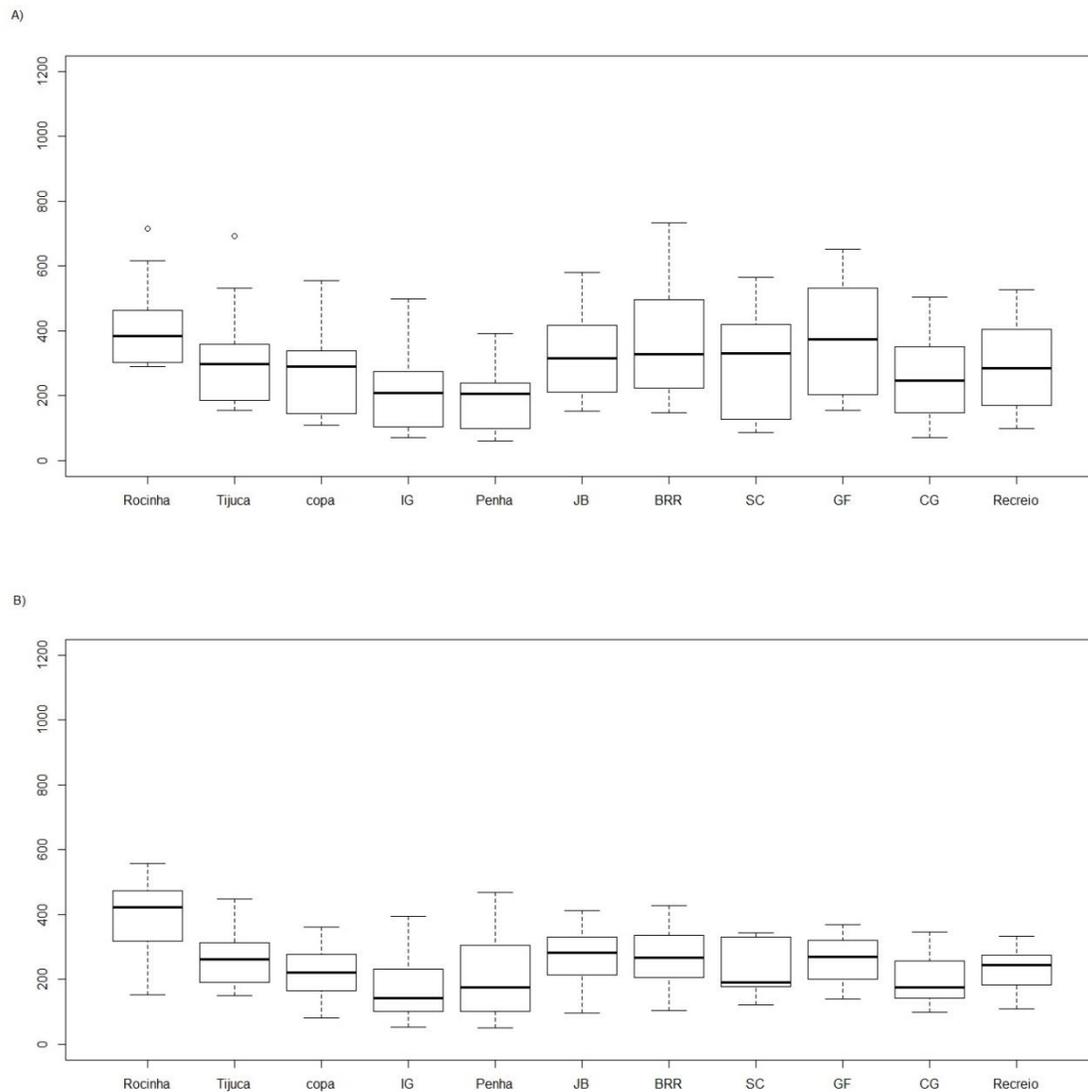


Figura 7: Distribuição trimestral de chuva por meio de *boxplot* 15/16 (A) – 13/14 (B)

Legenda: copa=Copacabana/ IG=ilha do Governador/ JB=Jardim Botânico / BRR=Barrinha / SC=Santa Cruz / GF=Grota Funda / CG=Campo Grande

Análise de Clusters

Ciclo EN 97/98 e Ciclo Neutro 01/02

Os dois Ciclos, EN (A) e Neutro (B), mostram agrupamentos semelhantes (Figura 8). A estação Penha, por exemplo, associa-se sempre ao grupo que possui menores acumulados de chuva. No Ciclo EN, encontra-se no G2 (grupo 2) isolada, mas ligada ao G3 (grupo 3) próxima da estação Recreio que se mostra isolada no conjunto, enquanto no Ciclo Neutro está agrupada no subgrupo do G1 (grupo 1) junto com Ilha do Governador e Recreio.

Ilha do Governador, Recreio, Santa Cruz e Campo Grande compõem o grupo de estações de menores acumulados.

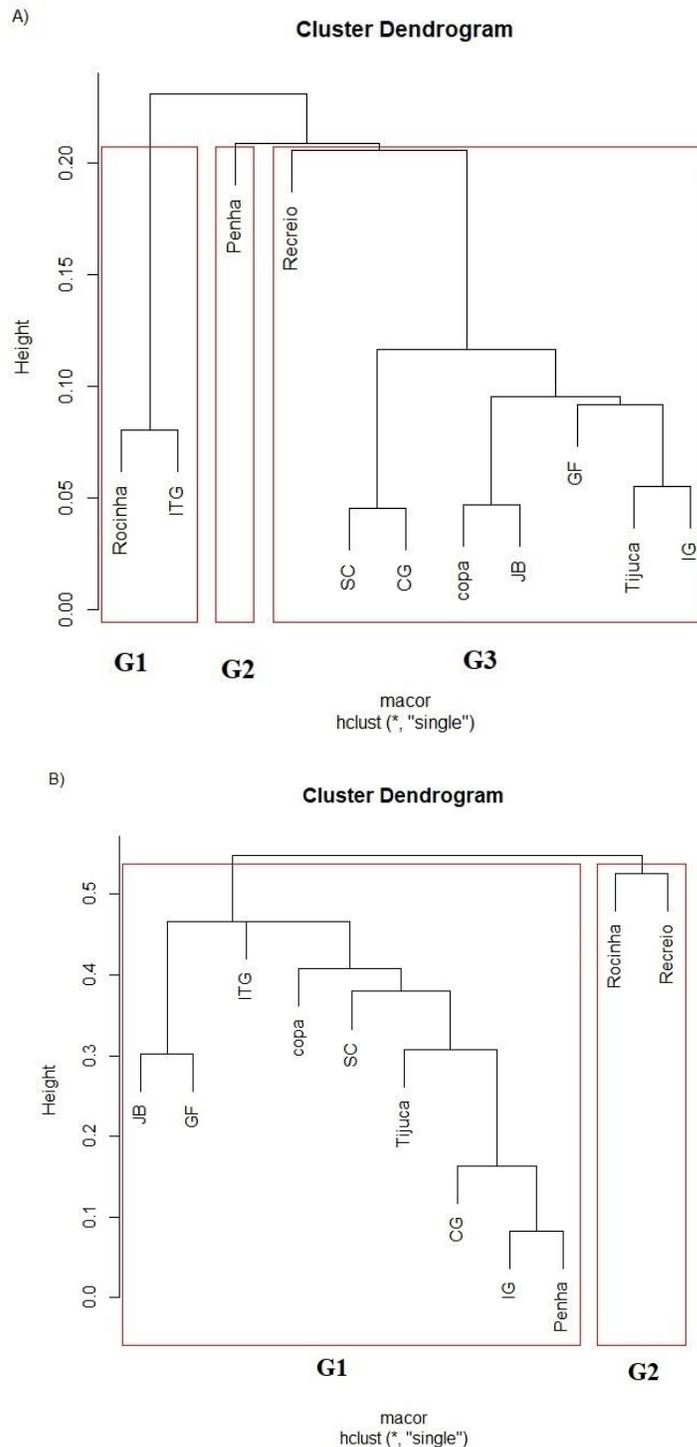


Figura 8: Dendrogramas 1997/98 (A) – 2001/02 (B)

Legenda: copa=Copacabana/ IG=ilha do Governador/ JB=Jardim Botânico / ITG=Itanhangá / SC=Santa Cruz/ GF=Grota Funda / CG=Campo Grande / G1 = grupo 1 / G2 = grupo 2 / G3 = grupo 3

Em contrapartida, as estações Rocinha, Tijuca, Jardim Botânico, Copacabana, Itanhangá, Grota Funda compõem pares/grupos em comum, tanto no Ciclo EN quanto no Ciclo Neutro, pois apresentam acumulados trimestrais pluviométricos semelhantes e representam o grupo de estações, por sua vez, bairros, que concentram os maiores acumulados trimestrais. Isso se deve as suas características físicas, a vegetação em abundância, a altitude, o efeito da maritimidade e a posição à barlavento do maciço. No Ciclo EN o subgrupo do G1 (grupo 1) é formado por Rocinha e Itanhangá, o subgrupo do G3 (grupo 3) é composto por Copacabana e Jardim Botânico e o terceiro subgrupo abrangendo Grota Funda e Ilha do Governador, sendo esta última a mais distinta nos acumulados. No Ciclo Neutro encontram-se associada ao subgrupo do G1 (grupo 1) Jardim Botânico e Grota Funda, com valores trimestrais acima de 150 mm, e ao G2 (grupo 2) se destaca Itanhangá isolada, mas conectada a estação Copacabana.

Ciclo EN 09/10 e Ciclo Neutro 12/13

Nas distintas configurações dos dendrogramas há similaridades em relação aos grupos formados entre os Ciclos EN (A) e o Ciclo Neutro (B) – Figura 9. As estações Rocinha, Tijuca, Grota Funda, Copacabana, Jardim Botânico e Itanhangá sempre formam pares, pertencentes, de alguma forma, ao mesmo grupo. Este padrão é observado no Ciclo EN, no subgrupo G2 (grupo 2), em que Grota Funda, Copacabana e Jardim Botânico apresentam altos acumulados trimestrais (acima de 200mm); no G3 (grupo 3) no par Rocinha e Itanhangá; Tijuca isolada no G2 (grupo 2) representando a estação que mais choveu.

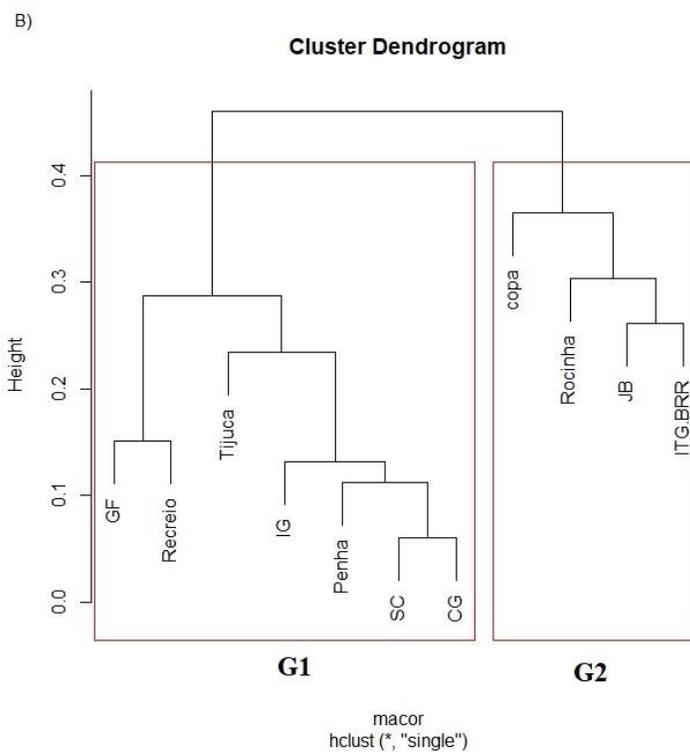
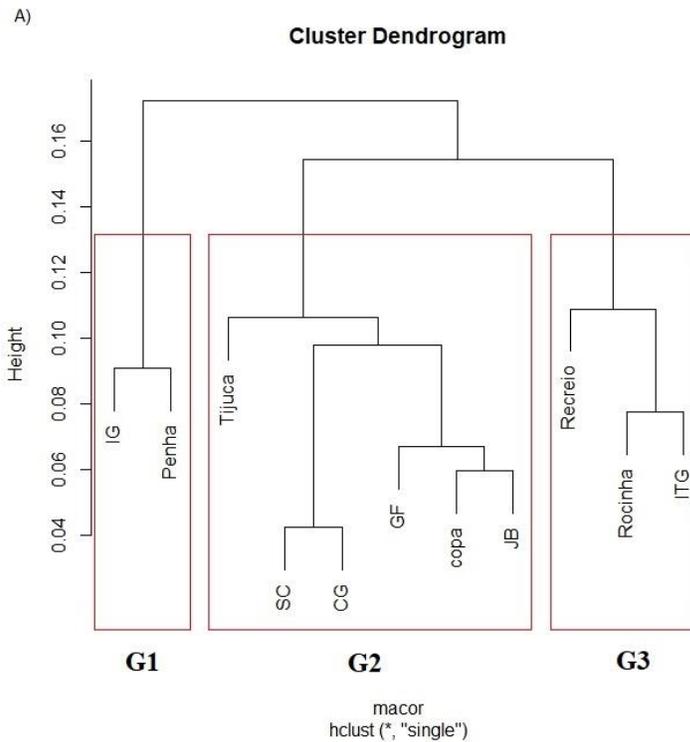


Figura 9: Dendrogramas 2009/10 (A) – 2012/13 (B)

Legenda: copa=Copacabana/ IG=ilha do Governador/ JB=Jardim Botânico / ITGBRR=Itanhangá-Barrinha / SC=Santa Cruz/ GF=Grota Funda / CG=Campo Grande / G1 = grupo 1 / G2 = grupo 2 / G3 = grupo 3

No Ciclo Neutro, o G2 (grupo 2) se conecta, nitidamente, ao que foi dito, isto é, agrupa Copacabana, Rocinha, Jardim Botânico e Itanhangá-Barrinha. Essas estações evidenciam características fisiográficas relevantes, que explicam o grande acúmulo trimestral nesses dois Ciclos, a saber, a presença da vegetação, a localização na encosta e a proximidade ao mar. Por outro lado, as estações Santa Cruz, Campo Grande, Penha e Ilha do Governador acabam também sempre formando pares e, geralmente, representam as estações com os acumulados mais baixos. Este padrão é observado, mais claramente, no Ciclo Neutro, pois no subgrupo do G1 (grupo 1) destacam-se juntas as estações Ilha do Governador, Penha, Santa Cruz e Campo Grande. A estação Ilha do Governador diferencia-se das demais, pois apresentam fatores que desfavorecem o acúmulo de chuvas, localizadas nas baixadas mais urbanizadas. A estação Ilha do Governador, ainda com a influência da baía de Guanabara, obtém acumulado trimestral similar à Penha, entre 100 mm a 300 mm, enquanto no Ciclo EN, por mais que Ilha do Governador e Penha estejam pareadas, apresentam acumulados trimestrais maiores (acima de 700 mm).

Ciclo EN 15/16 e Ciclo Neutro 13/14

Na comparação dos dendrogramas entre o Ciclo EN (A) e o Ciclo Neutro (B) – Figura 10 – ainda que o padrão apresente distinções, os grupos formados mostram uma lógica de ramificação semelhante. O G1 (grupo 1), do Ciclo EN, é composto pela estação Rocinha isolada, pois apresenta os maiores valores trimestrais (acima de 300 mm), que também se destaca no G2 (grupo 2), por apresentar os maiores acumulados trimestrais, com acumulados, em sua totalidade, entre 300 mm e 500 mm.

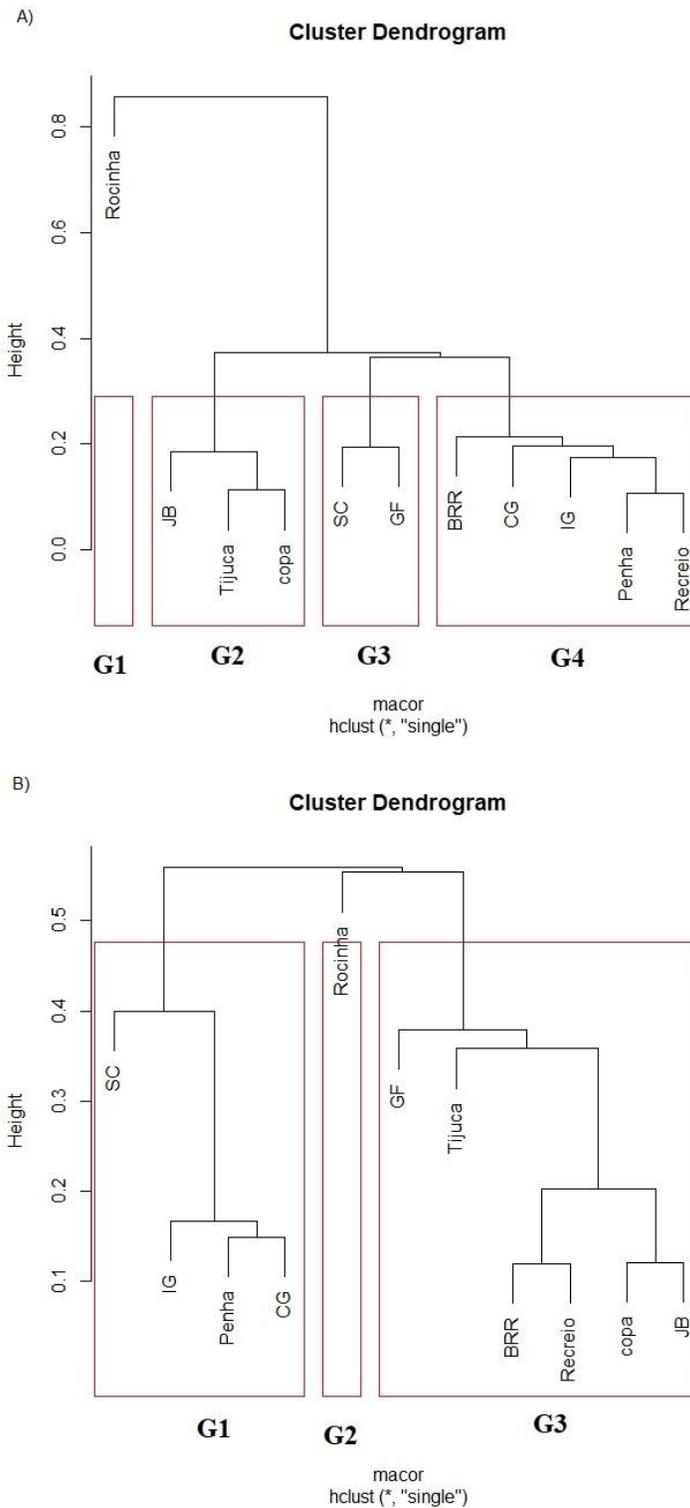


Figura 10: Dendrogramas 15/16 (A) – 13/14 (B)

Legenda: copa=Copacabana/ IG=ilha do Governador/ JB=Jardim Botânico / BRR=Barrinha / SC=Santa Cruz/ GF=Grota Funda / CG=Campo Grande / G1 = grupo 1 / G2 = grupo 2 / G3 = grupo 3/ G4= grupo 4

O G2, grupo 2, (Jardim Botânico, Tijuca e Copacabana) do Ciclo EN representa um grupo bastante homogêneo referente ao acumulado de chuva que se assemelha na composição do G3 (grupo 3) do Ciclo Neutro (Tijuca, Barrinha, Copacabana, Jardim Botânico). O G4, grupo 4, (Campo Grande, Ilha do Governador, Penha, Recreio e Barrinha) do Ciclo EN, que retirado Barrinha, pois se destoa com um acumulado acima de 700 mm, representa valores trimestrais baixos (trimestres com valores abaixo de 100 mm), que equivale ao G1 (grupo 1) do Ciclo Neutro (Santa Cruz, Campo Grande, Ilha do Governador, Penha) compostos por estações localizadas em sítios bastante urbanizados.

Coefficiente de Correlação

Os dados de correlação (Tabela 1) demonstram que as correlações entre os Ciclos EN e Neutro foram próximas de zero, o que expressa a não existência de uma relação linear entre os Ciclos comparados. Nos Ciclos EN é observado mudança na distribuição das chuvas na cidade do Rio de Janeiro, principalmente no período primavera/verão, por isso a fraca correlação obtida nos resultados. Apenas as estações da Penha, Recreio e Santa Cruz apresentaram correlação forte e estatisticamente significativa entre os ciclos (p -valor $< 0,05$). O que corresponde apenas 12% das análises. Penha demonstra também maior correlação entre os ciclos analisados, sendo a estação (bairro) com menor influência dos ciclos EN devido sua localização geográfica na cidade do Rio de Janeiro.

Tabela 1: Correlação entre Ciclos EN e Ciclos Neutros

Ciclos	Rc	JB	Copa	IG	Ph	Tj	Itg/brr	Re	CG	SC	GF
97/98-01/02	0,4	0,0	0,3	0,4	0,8*	0,2	-0,1	0,8*	0,4	0,5	-0,1
09/10-12/13	0,1	0,5	0,3	0,6	0,8*	0,5	0,6	0,5	0,6	0,7*	0,6
13/14-15/16	0,1	0,2	0,0	0,5	0,6	-0,2	0,4	0,2	0,4	0,5	-0,2

Legenda: Rc=Rocinha; Jb=Jardim Botânico; Copa=Copacabana; IG=Ilha do Governador; Ph=Penha; Tj=Tijuca; Itg/brr=Itanhangá-Barrinha; Re=Recreio; CG=Campo Grande; SC=Santa Cruz; GF=Grota Funda

* Significância estatística

Considerando as correlações entre os Ciclos EN (Tabela 2), 70% apresentaram forte correlação e 60% demonstram significância estatística, revelando que os acumulados trimestrais das chuvas na cidade do Rio de Janeiro apresentam variabilidade semelhante em sua distribuição entre os Ciclos EN em análise. As mais fracas correlações referem-se aos pares 97/98 – 15/16 e 97/98 – 09/10 na estação Rocinha; 97/98 – 09/10 e 15/16 – 09/10 na estação Itanhangá-Barrinha; 15/16 – 09/10 na estação Grota Funda e 97/98 – 09/10; e 15/16 – 09/10 na estação Recreio.

Tabela 2: Correlação entre os Ciclos EN

Ciclos	Rc	Jb	copa	Ig	Ph	Tj	Itg/brr	Re	Cg	Sc	Gf
97/98-15/16	0,3	0,7*	0,8*	0,8*	0,9*	0,9*	0,8*	1,0*	0,8*	0,7*	0,7*
97/98-09/10	0,4	0,6	0,7	0,7	1,0*	0,7*	0,4	0,5	0,8*	0,9*	0,7*
09/10-15/16	0,4	0,7*	0,8*	0,8*	0,9*	0,7*	0,4	0,5	0,6	0,7	0,4

Legenda: Rc=Rocinha; Jb=Jardim Botânico; copa=Copacabana; Ig=Ilha do Governador; Ph=Penha; Tj=Tijuca; Itg/brr=Itanhná=Barrinha; Re=Recreio; Cg=Campo Grande; Sc=Santa Cruz; Gf=Grota Funda

* Significância estatística

Por mais que haja fracas correlações, principalmente no par 15/19 – 09/10 de intensidades distintas, muito forte e moderada, respectivamente, não se pode afirmar que haja maior correlação quando há intensidades de EN iguais, uma vez que a própria estação Rocinha aponta uma fraca correlação quando há dois Ciclos EN muito forte (97/98 – 15/16). Somado a isso, a estação Penha apresentou fortes correlações em todos os pares, entre 0,9 e 1, trazendo outra vez a questão do fator local influenciando a distribuição das chuvas na cidade do Rio de Janeiro, independente dos Ciclos. Nesse pensamento, a estação Copacabana, com uma paisagem fisiográfica distinta da Penha, já que recebe a influência da maritimidade, uma das estações com os maiores acumulados trimestrais de chuva, também não sofre expressivas diferenças entre as intensidades entre suas correlações (0,7 - 0,9).

IV. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os principais resultados mostram que nos Ciclos EN há maiores picos de chuvas, acima de 1000 mm, sobretudo no período de 2009/10, e os acumulados trimestrais são mais elevados em comparação aos Ciclos Neutros, examinado pelos gráficos de barra e *boxplots*. Em relação aos Ciclos Neutros, destaca-se o período 2001/02, com baixos acumulados trimestrais, que não ultrapassa 800 mm.

A influência dos fatores locais na distribuição espacial da chuva é evidente nos dendrogramas, destacados dois grupos principais, principalmente nos Ciclos de 2009/10 e 2013/14: os de maiores acumulados trimestrais que correspondem as estações Rocinha, Tijuca, Grota Funda, Itanhangá-Barrinha, Copacabana e Jardim Botânico; e os menores acumulados trimestrais estão em Campo Grande, Penha, Santa Cruz, Recreio e Ilha do Governador. A concentração pluviométrica é devida aos fatores controladores favoráveis, a saber, o relevo, a maritimidade e a vegetação. Em contrapartida, os acumulados mais baixos estão situados nas três Baixadas litorâneas locais (Bangu, Guanabara e Santa Cruz), especialmente, Campo Grande, Penha e Santa Cruz.

Nessa perspectiva, independente da atuação ou não do evento El Niño, os maiores acumulados encontram-se nas encostas dos maciços costeiros da cidade do Rio de Janeiro, e com a presença da vegetação.

Em referência à estatística adotada, primeiramente, entre os Ciclos EN e Ciclos Neutros, em grande parte não apresentaram correlações significativas, isto é, os Ciclos são estatisticamente independentes. Somente 12% das análises obtiveram significância significativa entre os ciclos, não podendo assegurar uma correlação direta do processo de distribuição das chuvas dos Ciclos do EN e dos Ciclos Neutros. Todavia, observa-se alguns valores de alta correlação nas estações Tijuca, Ilha do Governador, Recreio e, principalmente, Penha (com as mais elevadas correlações). Em segundo lugar, as correlações entre os próprios EN ressaltam que são estatisticamente dependentes em boa parte das estações, mas não se pode afirmar que há maior correlação quando há intensidades de EN iguais (muito forte com muito forte e moderado com moderado). Este padrão se justifica com as estações Penha e Copacabana, de características físicas distintas, mas com altas correlações positivas em todos os ciclos comparados.

V. REFERÊNCIAS

- BOCANEGRA, J. E. M.; CAICEDO, J. D. P. La Variabilidad Climatica Interanual Asociada al Ciclo El Niño - La Niña – Oscilacion del Sur y su Efecto em el patron Pluviometrico de Colombia. *Meteorología Colombiana*, n. 2, p. 7 – 21, outubro 2000. ISSN 0124-6984.
- CAVALCANTI, I. F. A.; AMBRIZZI, T. Teleconexões e suas influências no Brasil. In: CAVALCANTI, I. F. de A. et al. (org.). *Tempo e Clima no Brasil*. São Paulo: Oficina de textos, 2009. cap. 20, p. 317 – 332.
- COELHO, C. A. S.; CARDOSO, D. H. F.; FIRPO, M. A. F. A seca de 2013 a 2015 na região sudeste do Brasil. *Revista Climanalise*, Edição Comemorativa de 30 anos do Climanalise, p. 55 – 61, 2016.
- DANCEY, C.; REIDY, J. *Estatística Sem Matemática para Psicologia: Usando para Windows*. Porto Alegre, Artmed, 2006.
- FERREIRA, L. G. B. et al. O fenômeno El Niño de 2015/2016 e seus impactos nas chuvas do Paraná. *Boletim Técnico*. 2017.
- FILHO, D. B. F.; JÚNIOR, J. A. da S. Desvendando os Mistérios do Coeficiente de Correlação de Pearson (r). *Revista Política Hoje*, vol. 18, n. 1, 2009.
- GOLDEN GATE WEATHER SERVICES. Services. El Niño and La Niña years and Intensities – Based on Oceanic Niño Index (ONI). Disponível em: < https://ggweather.com/enso/oni.htm?fbclid=IwAR0dVxYhcKKy4x1B7T8N9Zd5-RULCzt4XmIUz_myg4U4v1w74d_ACIVIMmc>. Acesso em 03 nov. 2019.
- GRIMM, A. M.; BARROS, V. R.; DOYLE, M. E. Climate variability in Southern South America Associated with El Niño and La Niña Events. *The Journal of Climate*, v. 13, n. 1, p. 35 – 58, janeiro, 2000.
- GRIMM, A. M.; TEDESCHI, R. G. ENSO and extreme rainfall events in South America. *Journal of Climate*, v. 22, p.

1589-1609, 2009.

MANLY, Bryan F. J. Análise de Agrupamentos. Métodos estatísticos multivariados: uma introdução. Tradução Sara Ianda Correa Carmona, 3ª ed. – Porto Alegre: Bookman, 2008.

MENDONÇA, F.; DANNI-OLIVEIRA, I. M. El Niño e La Niña. In: MENDONÇA, F.; DANNI-OLIVEIRA, I. M. (org.). Climatologia Noções básicas e climas do Brasil. São Paulo: Oficina de Textos, 2007. cap. 7.2, p. 189 – 193. ISBN 978-85-86238-54-3.

MINUZZI, R. B. et al. Influência do fenômeno climático el niño no período chuvoso da região sudeste do Brasil. Revista Geografia (Londrina), Londrina, Paraná, v. 15, n. 2, p. 5 – 19, jul./dez. 2006.

NASCIMENTO JUNIOR, L. Aspectos observacionais das Teleconexões Climáticas no Contexto da Variabilidade. Revista Eletrônica de Geografia, v. 6, n. 16, p. 46-58, 2014.

OLIVEIRA, G. S. de. O El Niño e Você: O Fenômeno Climático. São José dos Campos: TRANSTEC EDITORIAL, 1999.

SISTEMA ALERTA RIO, Prefeitura do Rio de Janeiro. Disponível em:< <http://alertario.rio.rj.gov.br/>>. Acesso em 02 de fev. 2019.

WANDERLEY, H. S.; FERNANDES, R. C.; DE CARVALHO, A. L. Aumento das temperaturas extremas na cidade do Rio de Janeiro e o desvio ocasionado durante um evento de El Niño intenso (Thermal change in the city of Rio de Janeiro and the deviation caused during an intense El Niño event). Revista Brasileira de Geografia Física, v. 12, n. 4, p. 1291, 15 out. 2019.
