



RISCOS



AS CHUVAS DE VERÃO SOB A INFLUÊNCIA DO FENÔMENO EL NIÑO, ENTRE 2005 E 2018,  
E O RISCO DE INUNDAÇÕES NO MUNICÍPIO DE SÃO GONÇALO-RJ (BRASIL)\*

SUMMER RAINS UNDER THE INFLUENCE OF THE EL NIÑO PHENOMENON, BETWEEN 2005 AND 2018,  
AND THE RISK OF FLOODING IN THE MUNICIPALITY OF SÃO GONÇALO-RJ (BRAZIL)

Vanessa Cristina Matos Pereira

Universidade do Estado do Rio de Janeiro  
Mestranda de Geotecnia da PUC-Rio (Brasil)  
[vanessamatos.meteorologia@gmail.com](mailto:vanessamatos.meteorologia@gmail.com)

ORCID 0000-0003-2407-3696

Maria Luiza Félix Marques Kede

Universidade do Estado do Rio de Janeiro  
Departamento de Geografia (Brasil)  
[mluizakede@gmail.com](mailto:mluizakede@gmail.com)

ORCID 0000-0002-9465-1984

Ana Valéria Freire Allemão Bertolino

Universidade do Estado do Rio de Janeiro  
Departamento de Geografia (Brasil)  
[anabertolino@uol.com.br](mailto:anabertolino@uol.com.br)

ORCID 0000-0002-9192-1117

Enzo Merlim Delazeri

Setor de Sensoriamento/Custom Maps Brasil (Brasil)  
[enzomerlim@gmail.com](mailto:enzomerlim@gmail.com)

ORCID 0000-0002-6061-8369

RESUMO

Os casos de inundação costumam ser mais frequentes no verão na região Sudeste do Brasil, podendo ser influenciados por sistemas ou fenômenos atmosféricos que agravam os eventos. O objetivo deste estudo foi verificar a ocorrência de inundações com as chuvas de verão, sob a influência dos períodos com e sem El Niño, no município de São Gonçalo, localizado na região metropolitana do Estado do Rio de Janeiro. Para isso foram analisados os dados de chuva da Estação Climatológica da Universidade do Estado do Rio de Janeiro entre 2005 e 2018. As análises consistiram em verificar a quantidade de eventos de chuva correspondentes às intensidades leve, moderada e forte, bem como o acumulado de chuva nos verões de cada ano, dentre os quais houve intervalos em que ocorreu o fenômeno El Niño. Os resultados contemplaram uma relação entre os registros da quantidade de inundações com os eventos de chuvas fortes (11,6%), observando que há uma suscetibilidade a inundações, pois foram registradas 82,8% de ocorrências no município somente nos anos com El Niño e 16,9% casos em anos sem El Niño.

**Palavras-chave:** Acumulado pluviométrico, precipitação, inundações, Sudeste, Variáveis naturais e sociais.

ABSTRACT

Flooding is more frequent in the summer in Brazil's Southeast region, possibly influenced by atmospheric systems or phenomena that aggravate weather events. The objective of this study was to ascertain the occurrence of flooding due to summer rainstorms under the influence of periods with and without El Niño in the municipality of São Gonçalo, in the Rio de Janeiro metropolitan region in the state of the same name. For this purpose, rainfall data were analysed from the Climatology Station of Rio de Janeiro State University between 2005 and 2018. The analyses consisted of checking the number of precipitation events classified according to intensity as light, moderate or heavy, as well as the cumulative summer rainfall each year, against the backdrop of intervals of the El Niño phenomenon. The results indicated the existence of a relationship between the number of flood events and strong rainfall (11.6%), with susceptibility to flooding, because 82.8% of the occurrences in the municipality were in years with El Niño and 16.9% of cases were in years without El Niño.

**Keywords:** Pluviometry, precipitation, floods, Southeast Brazil, natural and social variables.

\* O texto deste artigo corresponde a uma comunicação apresentada no V Congresso Internacional de Riscos, tendo sido submetido em 01-06-2020, sujeito a revisão por pares a 21-10-2020 e aceite para publicação em 19-05-2021. Este artigo é parte integrante da Revista *Territorium*, n.º 28 (II), 2021, © Riscos, ISSN: 0872-8941.

## Introdução

Há inúmeras formas de se classificar os riscos, podendo estar associados a situações potenciais de perdas e danos para o homem, sendo os riscos ambientais uma classe maior de riscos, subdividindo-se em riscos tecnológicos, riscos naturais e riscos sociais. Em relação aos riscos naturais podemos considerar os riscos atmosféricos, riscos geológicos, riscos hidrológicos e riscos biológicos (Cerri e Amaral, 1998; Peixoto *et al.*, 1997; Veyret, 2007; Nunes, 2018; Lourenço, 2018).

Segundo Lourenço (2018) os riscos hidrometeorológicos estão associados a eventos meteorológicos intensos capazes de produzir precipitações severas num curto espaço de tempo em uma dada região geográfica. Esses eventos podem estar associados a episódios de inundações, de enchentes, alagamentos, entre outros, que podem causar desastres naturais. Os riscos hidrometeorológicos são de origem atmosférica, hidrológica ou oceanográfica e podem causar perdas de vidas humanas, bens materiais e transtornos socioambientais (Zanella e Olímpio, 2014, Nunes, 2018 Lourenço, 2018).

Nunes (2018) indica que o impacto dos fenômenos que ocorrem depende da presença humana, dos seus respectivos bens, bem como da capacidade da população de lidar com esses fenômenos. A autora relata ainda que as catástrofes estão relacionadas com a vulnerabilidade, que é definida pelas características ou circunstâncias de uma comunidade, ou de um sistema ou de bens que são susceptíveis de sofrer danos, sendo derivada de vários fatores físicos, sociais, econômicos e ambientais. Assim, a vulnerabilidade se apresenta de forma diferenciada no espaço podendo revelar a segregação sócio-espacial e sócio-ambiental da sociedade, ou seja, a vulnerabilidade estará associada aos bens e à população distribuídas no espaço (Zanella e Olímpio, 2014).

Vulnerabilidade e risco muitas vezes estão associados às ocorrências de inundações, as quais consistem em eventos decorrentes de elevados volumes pluviométricos que ocorrem em um curto período de tempo (Dereczynski, 2017; Lourenço, 2018).

Os riscos hidrológicos relacionados à inundação estão associados ao aumento do nível da água no leito do corpo hídrico decorrentes de fortes pluviosidades (Vieira e Cunha, 2007; Soares Neto *et al.*, 2017) e que produzem grandes perdas econômicas, de bens materiais e doenças.

Segundo Pompêo (2000), Vieira e Cunha (2007) e Nunes (2018) trabalhar com riscos hidrológicos em áreas urbanizadas e áreas não urbanizadas apresenta certas especificidades. Nas áreas urbanizadas, o papel desempenhado pela população torna-se proeminente, principalmente na ocupação desordenada do espaço e na inadequação do sistema de drenagem. Além disso, a

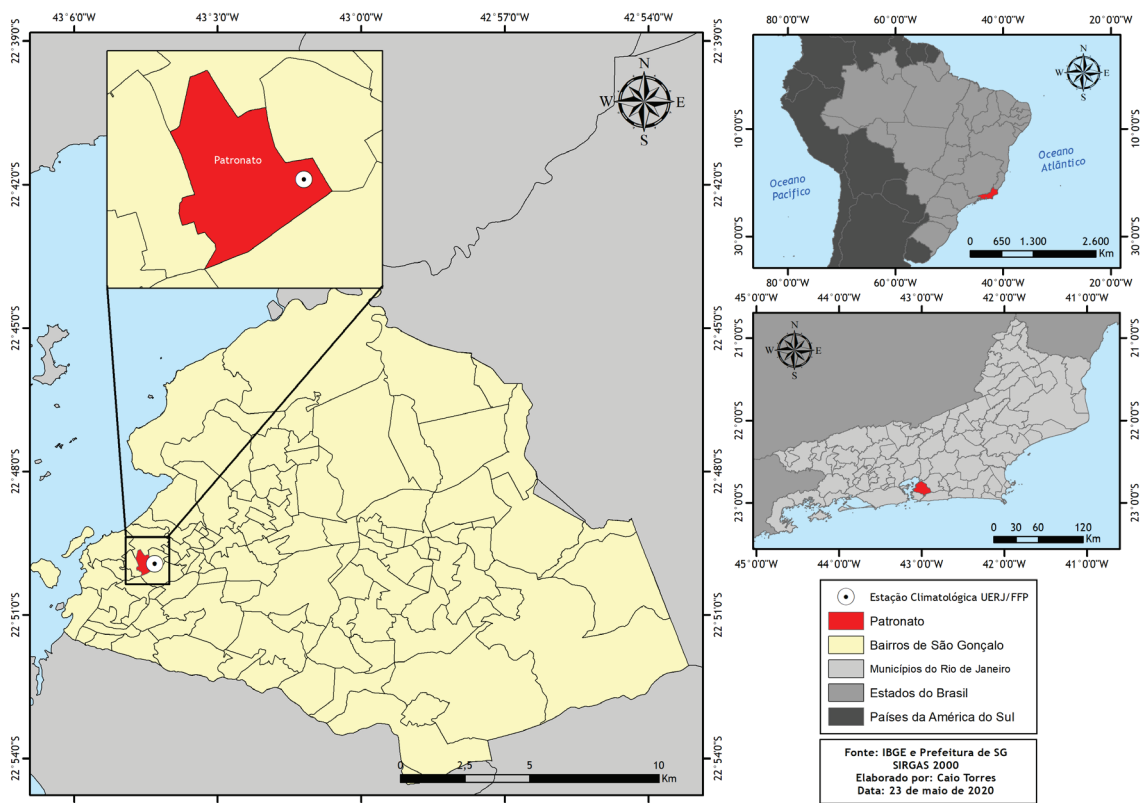
retirada da cobertura vegetal, a impermeabilização dos canais de drenagem, as infraestruturas de drenagem ineficientes e/ou inexistentes estarão atrelados a processos de inundação. Entretanto, no contexto urbano não somente os aspectos geomorfológicos e topográficos do sítio contribuem para os processos de inundações, mas também os fenômenos e os sistemas atmosféricos. Dentre os eventos climáticos que podem intensificar a presença de chuvas, consequentemente os que desencadeiam os processos de inundações, estão os efeitos do El Niño, que é conhecido por elevar as temperaturas médias e o acumulado de chuva no Sudeste brasileiro.

O El Niño Oscilação Sul (ENOS) ou simplesmente El Niño (quando referido a sua fase quente), passou a ser monitorado a partir da década de 50 pelo Centro de Previsões Climáticas da *National Oceanic Atmospheric Administration* (NOAA), mas foi entre as décadas de 80 e de 90 que as discussões sobre o fenômeno se iniciaram, quando se observaram alterações na fauna marinha (Pereira *et al.*, 2019). Essa alteração se deu por conta da elevação da Temperatura da Superfície do Mar (TSM) que não permitia a chegada das águas profundas, frias e ricas em nutrientes, à superfície para alimentarem os corais (Rossi e Soares, 2017). No Brasil o fenômeno gera mudanças, elevando os acumulados de chuva na região Sul, enquanto no Nordeste, são agravados os polígonos da seca, devido à escassez de chuva provocada pelo fenômeno. No Sudeste, região de interesse deste estudo, as temperaturas médias são elevadas e as chuvas, consequentemente, são registradas em maiores acumulados e quantidades de eventos de maior intensidade (Oliveira, 2005; Reboita, 2010; Pegorim, 2015; Pereira *et al.*, 2019).

Assim, o objetivo central deste trabalho é avaliar as inundações relacionadas com as chuvas ocorridas nos verões entre os anos de 2005 e 2018 e que sofreram influências do fenômeno climático El Niño. E para isso serão consideradas as possíveis alterações na quantidade de eventos e na intensidade das chuvas, corroborando para o aumento de inundações no município de São Gonçalo, estado do Rio de Janeiro (Brasil).

### *Caracterização da Área de estudo - Município de São Gonçalo-RJ*

O município de São Gonçalo-RJ, segundo o IBGE (2010), é um dos 20 municípios mais populosos do Brasil e o segundo mais populoso do Estado do Rio de Janeiro. Com 1.084.839 habitantes (IBGE, 2019) o município possui 248,160 km<sup>2</sup> (IBGE, 2018) e está mais especificamente localizado na porção leste da Baía de Guanabara (fig. 1). Nesta área, ocorre uma facilidade quanto à chegada de sistemas frontais que, conforme Oliveira-Júnior *et al.* (2017), geram influências na região, além de outros sistemas migratórios como a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), frentes frias e



**Fig. 1 - Localização do município de São Gonçalo-RJ e a Estação Climatológica Experimental Urbana**  
(Fonte dos dados: Laboratório de Geociências (LabGeo) da UERJ/FFP).

**Fig. 1 - Location of São Gonçalo-RJ city and Climatological Station**  
(Data source: Laboratory of Geoscience (LabGeo) of UERJ/FFP).

a Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) e sofre efeitos da maritimidade. Além disso, existe a proximidade de regiões de serra, como a Serra do Mar, o que proporciona ao local boa distribuição das chuvas pelo favorecimento da formação de nebulosidade, quando se compara às cidades continentais (Bertolino *et al.*, 2012).

O incremento populacional do município foi expressivo após a inauguração da Ponte Rio - Niterói, na década de 70, o que possibilitou a expansão de dois eixos centrais, através das Rodovias Amaral Peixoto (RJ - 106) e a Niterói - Manilha (BR - 101). Houve um aumento substancial da população do município em apenas duas décadas (TABELA I).

Estudos de mapeamentos geológicos na região foram realizados pelo DRM (1979 e 1981), por Meis (1976), Meis e Amador (1974 e 1977), Monteiro *et al.* (1974) e Ferrari

(2001). A área de estudo está inserida na folha cartográfica Baía de Guanabara que compõe, juntamente com as folhas de Maricá, Itaboraí e Petrópolis, domínios geológicos do Quaternário, Terciário, Mesozóico e Pré-Cambriano.

No município de São Gonçalo são encontrados diferentes tipos de solo, dentre eles, Argissolos Vermelho-Amarelo, solo Hidromórfico, solo Halomórfico, Neossolo, Cambissolo Háplico e Áreas de intervenções antrópicas tais como: aterro, terraplanagem e mineração (PMSG, 2008).

O relevo do município é caracterizado por três feições distintas: relevo de morros isolados, planícies flúvio-marinhas e superfícies coluvionares. São Gonçalo é caracterizado por um relevo de colinas, que corresponde a 35% da área total, e pela presença de maciços, tabuleiros e planícies costeiras (PMSG, 2008).

**TABELA I - Taxa de crescimento da população do município de São Gonçalo no período entre 1961 e 2011.**  
**TABLE I - Population growth rate in the municipality of São Gonçalo between 1961 and 2011.**

DESENVOLVIMENTO DA POPULAÇÃO 1960 - 2011						
ANO	1960	1970	1980	1991	2000	2011
POPULAÇÃO	244.617	430.271	614.668	779.832	891.119	1.008.000
TAXA DE CRESCIMENTO (%)		75,9	42,9	26,9	14,3	4,9

Fonte: modificado de Mendonça, 2007 /Source: modified from Mendonça, 2007.

A região analisada possui clima quente com chuvas de verão e outono, o que permite caracterizá-la como Aw, conforme a classificação de Köppen. O período seco ocorre entre maio e outubro, com acumulados inferiores a 100 mm, e o período no qual ocorre maior quantidade de chuva se encontra entre novembro e abril, com acumulados superiores a 100 mm (Kede *et al.*, 2017). Existem trabalhos, como o de Salgado *et al.* (2007), dedicados ao estudo do comportamento da chuva nos municípios adjacentes a São Gonçalo-RJ. Os autores afirmam que a precipitação média anual nessas regiões varia entre 1.000 mm e os 2.000 mm, nas áreas onde se encontram relevos mais acentuados. Acrescentam ainda que durante a primavera e o verão ocorre a maior parte da precipitação anual, sendo 34,7% no verão e 33,4% na primavera. Silva *et al.* (2019) afirmam que os verões de São Gonçalo-RJ, que são quentes e úmidos, provocam maiores ocorrências de chuvas atípicas, que geram transtornos à população. Segundo Silva (2006), Pereira (2009), Delazeri, (2015) e Daudt (2016) tais inundações ocorrem devido às alterações geradas nas bacias hidrográficas e sub-bacias, principalmente na bacia do rio Alcântara, que é a maior por ter diversos rios que banham outros municípios e mais de 50 bairros de São Gonçalo-RJ. Essa bacia hidrográfica vem sofrendo diversos problemas relacionados com a alteração das margens dos rios que a compõem, através da remoção da vegetação do entorno das margens para destinar o solo indevidamente às construções. Tal situação promove uma maior impermeabilização das superfícies, ocasionando maiores fluxos pluviais e taxas de erosão, gerando maiores eventos de inundação na região, classificando o local como ponto de vulnerabilidade, podendo gerar riscos para os moradores.

#### *Estação climatológica experimental urbana*

Os dados para este estudo foram obtidos na Estação Meteorológica Experimental Urbana (fig. 2), através das leituras diárias feitas às 12 TMG ou 9h da manhã, horário local, localizada na Universidade do Estado do Rio de Janeiro - Faculdade de Formação de Professores (UERJ/FFP), no município de São Gonçalo-RJ, que se encontra nas coordenadas 22°49'55,97"S e 43°4'25,52"W e a 20 m de altitude. O monitoramento dessa estação é realizado há 15 anos e os dados vêm sendo analisados e publicados em diversos trabalhos (Bertolino *et al.*, 2007; Silva, 2007, Pereira, 2009, Delazeri, 2015; Oliveira, 2015, Daudt *et al.*, 2016; Bertolino *et al.*, 2018; Silva, 2006; Pereira *et al.*, 2019; Tórno, 2019).

Para a análise dos dados foram realizados tratamentos estatísticos e estudos comparativos dos valores obtidos na Estação Meteorológica e dos padrões estabelecidos pelas Normais Climatológicas do INMET para a Estação do Rio de Janeiro, que foram baseadas numa série de dados obtidos entre 1961 e 1990.

#### **Metodologia**

A metodologia implementada consistiu na realização de análises de precipitação ocorridas nos meses de verão (dezembro, janeiro, fevereiro, março) no município de São Gonçalo-RJ, no período de 2005 a 2018. Foram também georreferenciadas as localizações das inundações conforme os boletins de ocorrência da Defesa Civil Municipal e utilizadas imagens de satélites com a finalidade de correlacionar os eventos pluviométricos com as inundações. Essas análises possuem o objetivo de mostrar se a quantidade de eventos mensais pluviométricos totais que foram registrados possuem alguma relação com os eventos de inundações. Além disso, foram realizadas comparações entre as chuvas de verão nos anos em que ocorreu o fenômeno El Niño e nos anos em que não houve atuação do fenômeno, com o objetivo de verificar se há alguma diferença no acumulado pluviométrico, devido às influências que o fenômeno ocasiona no município em questão.

##### *a) Boletins de ocorrência e espacialização das inundações*

Os registros de inundações no município foram realizados pela Coordenadoria Municipal de Proteção e Defesa Civil de São Gonçalo-RJ e constam do Sistema de Informação da Defesa Civil (SIDECC). Os dados sobre as inundações ocorridas entre o período de 2005 a 2018 foram obtidos por intermédio dos Boletins de Ocorrência da Defesa Civil de São Gonçalo, no qual constam informações referentes a coordenadas geográficas, endereço, bairro, data, hora, tipo de evento, descrição do cenário, e outras observações pertinentes ao trâmite interno da Prefeitura Municipal. Foram feitas coletas de informações para confecção de banco de dados relacionados com as inundações do município de São Gonçalo. Todos os eventos ocorridos no período em análise foram georreferenciados utilizando-se um GPS da marca "Garmin", com a finalidade de espacializar as ocorrências. Após a localização dos eventos de inundações os mesmos foram plotados temporalmente com a finalidade de se verificar a sua frequência nas bacias hidrográficas do município.

Em seguida, foi feito o tratamento de dados de chuva e a partir dessas informações foi montada uma tabela com os anos de 2005 a 2018, bem como os registros feitos em seus respectivos meses de janeiro, fevereiro, março e dezembro, de modo a saber quais os anos que registraram maiores ou menores quantidades de inundações, a fim de observar se esses eventos críticos possuem alguma relação com a atuação do El Niño.

##### *b) Análise das chuvas*

A análise da chuva foi feita em três etapas, sendo a primeira relacionada com a distribuição das chuvas em



períodos com e sem El Niño. Para isso, foram observados os índices ONI (*Oceanic Niño Index*), mostrando a TSM (Temperatura da Superfície do Mar) em 3 meses consecutivos, a fim de caracterizar o período como El Niño, La Niña ou situação de neutralidade. Os Índices ONI passaram a ser realizados pela NOAA na faixa 3.4 do Oceano Pacífico Equatorial (NOAA, 2019) para monitorar o aquecimento que se estende desde a região oeste, em Darwin, na Austrália, até à região leste, no Taiti, onde é possível saber se existe atuação do fenômeno por meio da elevação da TSM. Quando a mesma apresenta aumento de, pelo menos 0,5°C por mais de 3 meses consecutivos, partindo de 23,0°C (que é a TSM dentro da normalidade), passa a caracterizar a fase quente do El Niño. Para este estudo foram considerados apenas os anos que configuraram o fenômeno El Niño, que foram os anos 2005/2006, 2009/2010, 2014/2015/2016 e 2018.

No segundo momento, foram decompostos os pluviogramas diários para que dessa forma pudessem ser obtidos os eventos de chuva, comparando seus registros conforme sua intensidade, leve ( $\leq 2,5$  mm/h), moderada (entre 2,5 mm/h e 7,5 mm/h) e forte ( $> 7,5$  mm/h), conforme a escala Reichardt (1987), para posteriormente conhecer a dinâmica pluviométrica em anos com e sem El Niño.

No terceiro momento foram também analisadas as frequências de acumulados pluviométricos com o objetivo de observar um possível aumento de eventos de chuva de diversas intensidades que ocorreram em anos com e sem El Niño. As frequências de chuva foram contabilizadas de acordo com a quantidade de eventos que ocorreram dentro dos intervalos entre 0-10 mm, 10 e 20 mm, 20-30 mm, 30-40 mm, 40-50 mm e acima de 50 mm. E também foram relacionados os acumulados de chuva sob atuação e ausência do fenômeno, além de comparações com

os acumulados registrados pela estação meteorológica denominada Rio de Janeiro, localizada no aeroporto Santos Dumont-RJ, cujos dados constam das Normais Climatológicas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) entre os anos de 1961 e 1990, tendo sido essas as Normais Climatológicas utilizadas.

### c) Imagens de satélite e cartas sinóticas

Foram utilizadas imagens de satélite dos anos de 2010, 2014 e 2016 do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC-INPE) e cartas sinóticas dos anos de 2008 e 2016 do Departamento de Hidrografia e Navegação (DHN), de modo a explicar possíveis fenômenos que ocorreram e que ocasionaram algum volume pluviométrico atípico, como sistemas frontais de características frias, cavados e a atuação da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), ou que contribuíram com a redução do acumulado pluviométrico, como a Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS).

## Resultados

Os anos e classificações de intensidade do fenômeno El Niño, segundo a NOAA, são apresentados com os índices ONI maiores e menores que 0,5°C por mais de 3 meses consecutivos (TABELA II). Os índices ONI, em vermelho, caracterizam a atuação do El Niño. Pode-se observar que o ano de 2005 apresentou um curto período com TSM igual a 0,6°C, ou seja, apenas nos meses de janeiro e fevereiro. Já no ano de 2006, as alterações positivas da TSM passaram a acontecer a partir de setembro, no qual foram registrados 0,5°C, em outubro houve um aumento para 0,7°C e em novembro e dezembro foi registrado o mesmo valor de 0,9°C.

TABELA II - Índices ONI registrados nos meses e anos no período de 2005 a 2018.

TABLE II - Oceanic Niño Indices [ONI] recorded in the months and years of the studied series from 2005 to 2018.

MESES/ANOS	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
2005	0,6	0,6	0,4	0,4	0,3	0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,3	-0,6	-0,8
2006	-0,8	-0,7	-0,5	-0,3	0,0	0,0	0,1	0,3	0,5	0,7	0,9	0,9
2007	0,7	0,3	0,0	-0,2	-0,3	-0,4	-0,5	-0,8	-1,1	-1,4	-1,5	-1,6
2008	-1,6	-1,4	-1,2	-0,9	-0,8	-0,5	-0,4	-0,3	-0,3	-0,4	-0,6	-0,7
2009	-0,8	-0,7	-0,5	-0,2	0,1	0,4	0,5	0,5	0,7	1,0	1,3	1,6
2010	1,5	1,3	0,9	0,4	-0,1	-0,6	-1,0	-1,4	-1,6	-1,7	-1,7	-1,6
2011	-1,4	-1,1	-0,8	-0,6	-0,5	-0,4	-0,5	-0,7	-0,9	-1,1	-1,1	-1,0
2012	-0,8	-0,6	-0,5	-0,4	-0,2	0,1	0,3	0,3	0,3	0,2	0,0	-0,2
2013	-0,4	-0,3	-0,2	-0,2	-0,3	-0,3	-0,4	-0,4	-0,3	-0,2	-0,2	-0,3
2014	-0,4	-0,4	-0,2	0,1	0,3	0,2	0,1	0,0	0,2	0,4	0,6	0,7
2015	0,6	0,6	0,6	0,8	1,0	1,2	1,5	1,8	2,1	2,4	2,5	2,6
2016	2,5	2,2	1,7	1,0	0,5	0,0	-0,3	-0,6	-0,7	-0,7	-0,7	-0,6
2017	-0,3	-0,1	0,1	0,3	0,4	0,4	0,2	-0,1	-0,4	-0,7	-0,9	-1,0
2018	-0,9	-0,8	-0,6	-0,4	-0,1	0,1	0,1	0,2	0,4	0,7	0,9	0,8

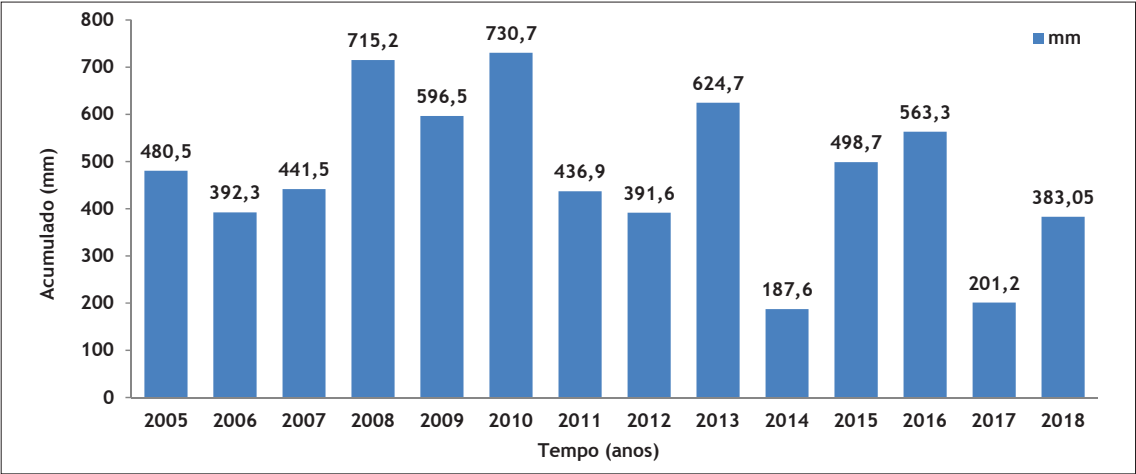
Legenda: Dados em vermelho representam meses de El Niño.

Fonte: NOAA (Adaptado) / Source: NOAA (Adapted).

É possível observar o acumulado de chuva registrado em cada ano da série histórica analisada, como no ano de 2005 (ano com El Niño) que registrou 480,5 mm de chuva, enquanto o ano de 2007 (sem El Niño), registrou 441,5 mm. O ano de 2010 (ano com El Niño) registrou 730,7 mm acumulados, enquanto o ano de 2011 (ano sem El Niño) registrou 436,9 mm e o de 2012 (também sem influência do fenômeno), 391,6 mm. O ano de 2016 (ano com El Niño), mesmo com a atuação atípica da ASAS, registrou 563,3 mm e o ano de 2018 (anos com El Niño) teve 383,1 mm. Através dessa análise, percebeu-se que os anos em que ocorreu o El Niño normalmente apresentaram maiores acumulados pluviométricos, podendo ser justificado pelo aumento de temperatura média, que intensifica a evaporação, causando chuvas (fig. 2).

Na sequência, apresentam-se as quantidades em que foram registrados eventos de chuva conforme a frequência nos intervalos entre 0 e 10 mm, 10 e 20 mm, 20 e 30 mm, 40 e 50 mm e maior que 50 mm, para que seja comparado em cada nível de intensidade, o comportamento da dinâmica pluviométrica em anos em que houve influência do El Niño e ausência do mesmo (TABELA III).

De acordo com os dados apresentados, é possível observar que na maioria dos anos que tiveram influência do El Niño foram encontradas maiores quantidades de eventos de chuva, como no ano de 2006 (ano de El Niño), quando foram registrados 16 eventos de chuva com quantidade entre 10 e 20 mm. O ano de 2010, ano de El Niño, registrou 5 eventos maiores que 50 mm. E no ano de 2016 foram observados 3 eventos de chuva maiores que 50 mm.



\*No ano de 2017 houve problemas no monitoramento.

Fig. 2 - Eventos de acumulado de chuva nos verões (2005-2018) no município de São Gonçalo-RJ, Brasil  
(Fonte dos dados: Laboratório de Geociências (LabGeo) da UERJ/FFP).

Fig. 2 - Accumulated summer rainfall (2005-2018) in São Gonçalo-RJ city, Brazil  
(Data source: Laboratory of Geoscience (LabGeo) of UERJ/FFP).

TABELA III - Eventos de chuva ao longo dos anos com e sem atuação do El Niño.

TABLE III - Data of rain during years with and without influences of El Niño.

Com El Niño	2.163 eventos													
Sem El Niño	1.779 eventos													
Frequência de chuva	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017*	2018
0-10 mm	360	265	282	329	307	344	364	228	288	100	216	147	150	260
10-20 mm	8	16	14	15	18	16	11	23	25	12	14	0	9	10
20-30 mm	0	6	7	3	6	7	3	0	4	3	4	5	2	2
30-40 mm	4	0	1	4	1	2	4	2	1	0	4	3	1	4
40-50 mm	1	0	1	1	3	1	0	1	1	1	0	0	0	0
> 50 mm	1	1	2	2	1	5	0	0	1	0	1	3	0	1
Total	374	288	307	354	336	375	382	254	320	116	239	158	162	277

\*Problemas no monitoramento da Estação Climatológica.

Fonte: Laboratório de Geociências (LabGeo) da UERJ/FFP; Source: Laboratory of Geoscience (LabGeo) of UERJ/FFP.

Quando se compara os anos de 2005/2006 (anos com El Niño) com os anos de 2007/2008 (anos sem El Niño), percebe-se que registraram um percentual de 2,2% maior no intervalo de 0 a 10 mm. Quanto ao acumulado maior que 50 mm, os anos de 2007/2008 apresentaram 50% de aumento. Esse aumento pode ser justificado pela atuação de diversos fenômenos no ano de 2008, como centros de baixa pressão com 1006 hPa que atuavam em diversas áreas do Brasil, incluindo o litoral fluminense e sobre o oceano na região da costa dos estados do Rio de Janeiro e São Paulo, contribuindo para a formação de nebulosidade, elevando o acumulado de chuva no mês de janeiro do mesmo ano. Na segunda quinzena do mesmo mês, um cavado atuou sobre o Sudeste, proporcionando instabilidade, deixando o mês de janeiro/2008 com chuvas acima da média. No mês de fevereiro/2008, houve a passagem de um sistema frontal associado a um ciclone, além da atuação da Zona de Convergência do Atlântico Sul, deixando o mês de fevereiro também com média mais elevada. Dessa forma, o ano de 2008 foi classificado como “*muito chuvoso*”, conforme afirmado pelo INMET e citado por Pereira (2009) e Tórnio (2019).

No ano de 2009 (ano com El Niño) foi observado apenas 1 evento maior que 50 mm. O total de eventos registrados neste ano foi de 336. Já no ano de 2010 (ano com El Niño) foram registrados 5 eventos maiores que 50 mm, os quais ocorreram nos meses de fevereiro, março e dezembro. Os eventos que foram classificados como maiores que 50 mm podem ser justificados pela atuação de diversos fenômenos, dentre eles, a Zona de Convergência de Umidade (ZCOU), que se estendeu na faixa entre a região sul do estado do Amazonas e o Oceano Atlântico, ocasionando precipitação extrema no mês de janeiro/2010, conforme pode-se visualizar na carta sinótica (fig. 3).

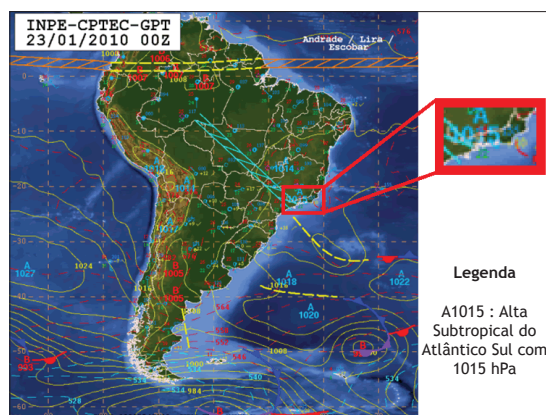


Fig. 3 - Carta sinótica da América do Sul mostrando atuação da ZCOU - Janeiro de 2010 (Fonte: INPE-CPTEC-GPT, 2010a).

Fig. 3 - Synoptic map of South America showing ZCOU ['Humidity Convergence Zone'] performance - January 2010 (Source: INPE-CPTEC-GPT, 2010a).

No mês de fevereiro/2010 houve a atuação de um cavado, que elevou o acumulado de precipitação, classificando tais eventos como “fortes”, segundo a escala de Reichardt.

A atuação da ZCOU também foi uma das responsáveis por elevar o volume de chuva nos meses de fevereiro e março de 2010. No ano de 2011 (ano sem El Niño) não se observa nenhum evento maior que 50 mm, com o total de 382 eventos. No ano de 2012 (ano sem El Niño) foi registrado nenhum evento maior que 50 mm. O total de eventos registrados ao longo do ano foi de 254, 24,4% menor que no ano de 2009 e 32,3% menor que no ano de 2010, os quais sofreram influência do El Niño. No ano de 2013 (ano sem El Niño) foi observado 1 evento maior que 50 mm e 320 eventos neste ano, representando um percentual de 14,7% menor que 2010, o qual foi influenciado pelo fenômeno El Niño. No ano de 2014 (ano com El Niño) apresentou 100 eventos entre 0 e 10 mm, apenas 12 eventos no intervalo entre 10 e 20 mm, e nenhum evento maior que 50 mm. O total dos eventos registrados neste ano foi de 116. Ainda que 2014 tenha sido influenciado pelo fenômeno El Niño, ele apresentou menos eventos e menores acumulados pluviométricos. Isso pode ser justificado pela atuação atípica da ASAS, que se situou mais ao continente, inibindo a formação de nuvens (fig. 4). Devido a esse comportamento atípico, o ano de 2014 foi classificado como “*muito seco*” (Tórnio, 2019).

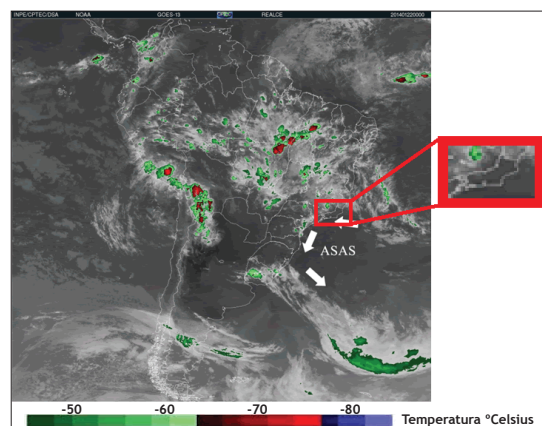


Fig. 4 - Fenômeno ASAS atuando no Sudeste brasileiro (Fonte: INPE-CPTEC-GPT, 2014d).

Fig. 4 - South Atlantic Subtropical High [ASAS] phenomenon operating in Southeast Brazil (Source: INPE-CPTEC-GPT, 2014d).

O ano de 2015 (ano com El Niño) registrou 1 evento maior que 50 mm. O total de eventos desse ano foi de 239, sendo 51,5% maior que o ano de 2014, que também foi influenciado pelo fenômeno, mas que teve atuação atípica da ASAS. No ano de 2016 (ano de El Niño) ocorreram problemas no monitoramento, entretanto, foram registrados 147 eventos entre 0 e 10 mm, 5 eventos entre 20 e 30 mm e 3 eventos maiores que 50 mm. O mês de janeiro/2016 apresentou volumes pluviométricos muito elevados. Segundo Tórnio (2019), houve 19 dias de chuva devido a atuação de um ciclone de baixa pressão (1006 hPa) e da atuação da ZCAS, que se encontrava associada a um sistema de baixa pressão e a uma frente fria que juntos provocaram significativos acumulados (fig. 5).

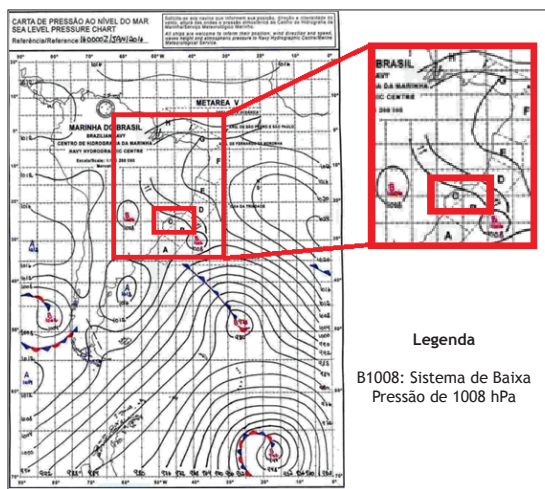


Fig. 5 - Carta Sinótica janeiro/2016 mostrando a atuação de ciclone de baixa pressão e da ZCAS (Fonte: Marinha do Brasil, 2016).

Fig. 5 - Synoptic map of January/2016 showing low pressure of ZCAS [South Atlantic Convergence Zone] (Source: Marine of Brazil, 2016).

O mês de fevereiro do mesmo ano ficou acima da média com 203 mm, enquanto o acumulado registrado foi de apenas 105,3 mm. Esse comportamento pode ser justificado devido aos elevados volumes de chuva, que foram ocasionados, mais uma vez, pela atuação de um sistema frontal associado a um centro de baixa pressão com 992 hPa sobre a costa do Rio de Janeiro. Na segunda quinzena do mês, houve a formação de um centro de baixa pressão (1002 hPa) associado a um sistema frontal que atuou nas regiões Sul e Sudeste do Brasil e provocou chuva de mais de 50 mm (Tórnio, 2019). De acordo com Mendonça e Danni-Oliveira (2007), esse sistema se assemelha à baixa do Chaco, o qual se caracteriza por atrair a umidade dos sistemas anticiclônicos adjacentes e gerando instabilidade. No fim do mês houve a presença de um cavado associado a um sistema de baixa pressão, e posteriormente, a atuação de um sistema frontal frio com temperatura do topo de nuvem entre  $-60^{\circ}\text{C}$  e  $-80^{\circ}\text{C}$  (fig. 6). Em março do mesmo ano também foram obtidos totais pluviométricos acima do esperado para o mês, com 123,2 mm enquanto a estação Rio de Janeiro do INMET registrou 103,3 mm nas Normais Climatológicas. Neste mês tiveram poucos eventos, mas os que ocorreram foram classificados como leves, moderados e 1 evento que teve 103 mm devido à passagem de uma frente fria associada a um ciclone de 1006 hPa (Tórnio, 2019).

Quanto ao ano de 2016, esses eventos podem ser apontados como alguns dos responsáveis pela ocorrência de inundações durante o verão. No ano de 2017 (ano sem El Niño) foram registrados 150 eventos entre 0 e 10 mm; 9 eventos entre 10 e 20 mm; e nenhum evento maior que 50 mm. O total de eventos desse ano foi de 162. No ano de 2018 (ano com El Niño) foram observados 260 eventos entre 0 e 10 mm; 10 eventos entre 10 e 20 mm; e 1 evento maior que 50 mm, com o total de eventos observados nesse ano foi de 277.

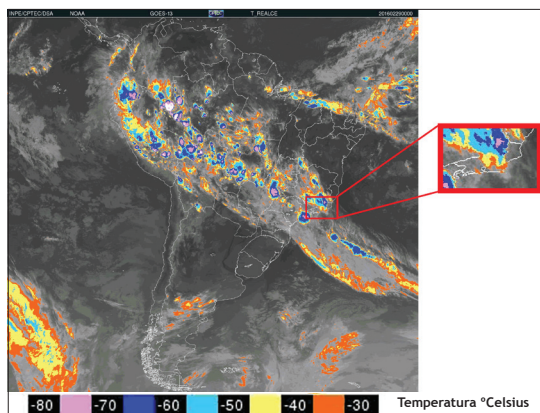


Fig. 6 - Imagem de satélite GOES-13 do dia 29 de fevereiro de 2016 mostrando o sistema frontal (Fonte: CPTEC-INPE, 2016a).

Fig. 6 - GOES-13 Satellite image highlighted channel of 29 February 2016 showing frontal system (Source: CPTEC-INPE, 2016a).

De acordo com os dados apresentados pode-se concluir que no município de São Gonçalo-RJ é mais frequente ocorrer precipitação de menores acumulados, como entre 0 e 10 mm, pois a média de eventos nesse intervalo foi de 249,4 ao longo da série analisada. Já os eventos dentro do intervalo maior que 50 mm não ocorrem com a mesma frequência, podendo ser observada uma média de 1,2 eventos ao longo do período analisado e de 13 eventos nos anos com El Niño e de 5 eventos nos anos sem El Niño, com um aumento de 61,5% dos eventos nesse intervalo em anos com El Niño.

De modo a observar a variabilidade temporal da precipitação, são observadas a quantidade de eventos leve, moderada e forte, segundo a escala Reichardt, que ocorreram no município de São Gonçalo-RJ ao longo dos verões da série histórica (2005-2018). As taxas mais representativas foram registradas nos anos de 2005, com 116 eventos de chuva leve, 30 eventos moderados e 14 eventos fortes. O volume acumulado de chuva no verão desse ano foi de 480,5 mm, ficando 11,2 mm abaixo do esperado para o verão. Já no ano de 2007 (ano sem El Niño em sua maior parte) puderam ser observados 85 eventos leves, 31 eventos moderados e apenas 4 eventos fortes, representando uma redução de 66,7% em comparação com o ano de 2006, que sofreu influência do fenômeno. A diferença registrada entre o valor obtido em 2007 pela Estação Climatológica da UERJ/FFP e a média de verão das Normais Climatológicas do INMET foi de 50,2 mm, indicando que o ano de 2007 ficou abaixo do esperado para o verão (fig. 7).

No ano de 2008 houve uma significativa diferença quando comparado aos anos de 2005, 2006 e 2007, pois os mesmos ficaram abaixo da média, enquanto o ano de 2008 ficou 223,3 mm acima do esperado para o verão. Segundo Pereira (2009) e Tórnio (2019) o ano de 2008



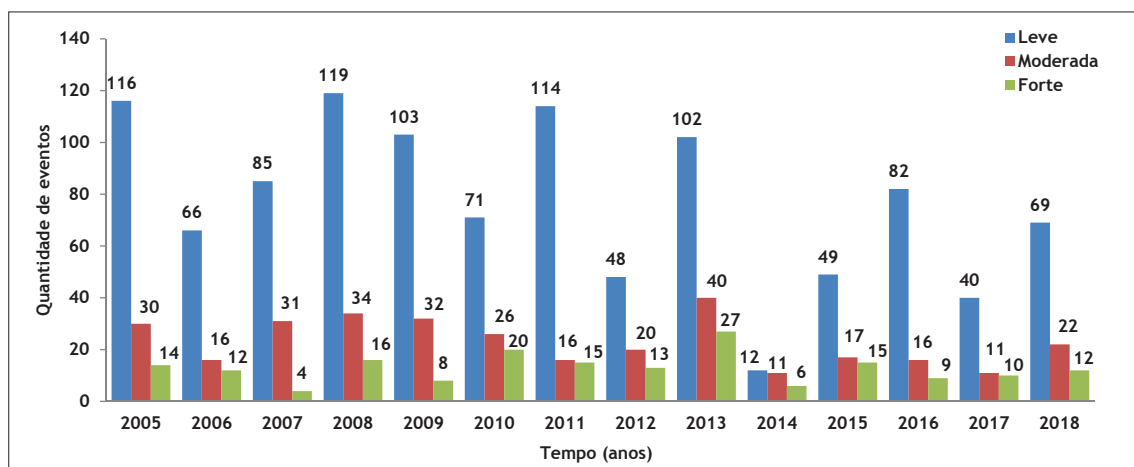


Fig. 7 - Eventos de leve, moderada e forte Intensidades de chuva no verão (2005-2018) no município de São Gonçalo-RJ, Brasil (Fonte: Laboratório de Geociências (LabGeo) da UERJ/FFP).

*Fig. 7 - Light, moderate and heavy summer rainfall events (2005-2018), in São Gonçalo-RJ city, Brazil (Source: Laboratory of Geoscience (LabGeo) of UERJ/FFP).*

foi classificado como um ano “chuvoso” pelo INMET devido aos fenômenos atuantes (fig. 8). Entretanto, não houve muitos registros de inundações, indicando que a precipitação foi bem distribuída ao longo do verão.

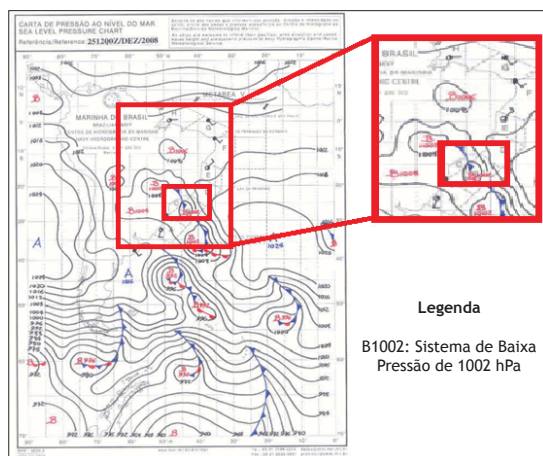


Fig. 8 - Carta Sinótica de 25 de dezembro de 2008 mostrando o sistema frontal (Fonte: adaptado de Marinha do Brasil, 2008).

*Fig. 8 - Synoptic map, 25 December 2008 showing the frontal system (Source: adapted from Marine of Brazil, 2008).*

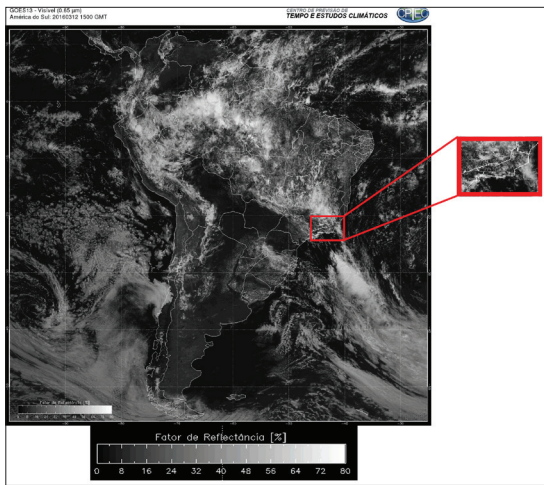
No ano de 2010 (ano com El Niño) observaram-se 20 eventos fortes. O volume acumulado no verão foi de 730,7 mm, ficando 239 mm acima do esperado para o verão, de acordo com as Normais Climatológicas do INMET. No ano de 2014 (ano com El Niño) foram observados 12 eventos de chuva leve, 11 eventos de chuva moderada e 6 eventos de chuva forte. Essa redução na ocorrência de chuva pode ser justificada pela atuação atípica da ASAS, que se situou na costa do Sudeste de forma atípica e que, segundo Pegorim (2016) devido à subsidência de ar que

inibiu a formação de nebulosidade, permitindo um total de chuva no verão de apenas 187,6 mm, ficando 304,1 mm abaixo da média, sendo o ano mais seco de toda a série histórica destacada. No ano de 2015 (ano com El Niño) houve 15 eventos de chuva forte, representando uma redução de 20% quando comparado aos eventos fortes do ano de 2013, que não sofreu com as alterações do El Niño. Da mesma forma, esse comportamento pode ser explicado pela atuação atípica da ASAS, que reduziu a quantidade de chuva na região (Pegorim, 2015). Ainda que a ASAS tenha atuado de forma atípica tanto em 2014 quanto em 2015, o volume acumulado no verão do ano de 2015 foi equivalente a um aumento de 62,4% em relação ao registrado no verão do ano de 2014. E por mais que houvesse esse aumento percentual, o ano de 2015 ficou 7 mm abaixo da média dos verões.

No ano de 2016 (ano com El Niño) foram observados 82 eventos de chuva leve, 16 eventos de chuva moderada e 9 eventos de chuva forte. Ainda que esse ano tenha sido classificado como um ano “extremamente seco” pelo INMET (Tórrio, 2019), o verão do ano de 2016 ficou 71,6 mm acima da média esperada para os verões. E os episódios de chuva de maior intensidade foram suficientes para ocasionar inúmeras inundações no município de São Gonçalo-RJ devido à combinação da ocorrência de fenômenos como a ZCAS, cavados e sistemas frontais de característica fria, como por exemplo, no mês de novembro de 2016 (fig. 9). Esses fenômenos podem ser apontados como possíveis responsáveis pelo volume de 563,3 mm obtidos no verão de 2016, o que pode ter acarretado na elevada quantidade de inundações registrada.

No ano de 2017 (ano sem El Niño) foi possível registrar 40 eventos de chuva leve, 11 eventos moderados e 10 eventos fortes. Devido ao problema no monitoramento, o





**Fig. 9** - Imagem do canal Visível do Satélite GOES-13 em 12 de março de 2016 mostrando a ZCAS (Fonte: CPTEC-INPE, 2016a).  
**Fig. 9** - GOES-13 Satellite Image of the Visible channel on 12 March 2016 showing ZCAS (Source: CPTEC-INPE, 2016a).

total acumulado que pôde ser registrado no verão desse ano foi de 201,2 mm, não cabendo comparação com o acumulado de chuva registrado no verão das Normais Climatológicas do INMET. Já no ano de 2018 (ano com El Niño) foram observados 383,05 mm ao longo do verão, os quais foram distribuídos entre 69 eventos de chuva leve, 22 eventos de chuva moderada e 12 eventos de chuva forte, ficando 108,7 mm abaixo do esperado para o verão. De acordo com os dados analisados, pode-se justificar que os eventos de inundação quantificados se dão em decorrência das chuvas mais fortes que ocorrem na cidade e que leva a população mais vulnerável a estar mais suscetível aos riscos.

Localização das inundações

As inundações registradas pela Defesa Civil do município de São Gonçalo-RJ permitem observar os dados registrados pelos boletins de ocorrência nos meses de janeiro, fevereiro, março e dezembro de cada ano da série histórica selecionada. As maiores taxas foram observadas nos anos de El Niño, sendo eles o ano de 2016, com 273 eventos de inundação, sendo 141 eventos ocorridos apenas no mês de março. O ano de 2005 foi o segundo ano com maiores registros, apresentando 26 eventos apenas no mês de janeiro e totalizando 42 eventos. A menor taxa foi observada no ano de 2008, o qual não sofreu influências do El Niño e apresentou apenas 1 evento de inundação (TABELA IV).

No ano de 2016 pode-se perceber um comportamento atípico em relação à ocorrência de inundações, pois o total registrado no verão foi 70,3% maior do que os totais registrados nos verões dos anos sem El Niño e 56,8% maior do que o registrado nos anos com El Niño. No ano de 2017 (anos em El Niño) foram registrados 3 eventos no mês

**TABELA IV** - Registros de inundações nos meses de verão no município de São Gonçalo-RJ, Brasil.

**TABLE IV** - Flood events in summer months in São Gonçalo-RJ city, Brazil.

Inundações - Verão					
Anos	Eventos				
	Jan	Fev	Mar	Dez	Total
2005	26	2	14	-	42
2006	1	4	-	-	5
2007	10	5	4	-	19
2008	-	-	1	-	1
2009	-	-	-	1	1
2010	-	2	9	4	15
2011	1	4	2	-	7
2012	23	1	2	-	26
2013	5	5	4	2	16
2014	3	3	7	2	15
2015	3	2	7	12	24
2016	62	66	141	4	273
2017	3	-	9	-	12
2018	11	3	2	-	16

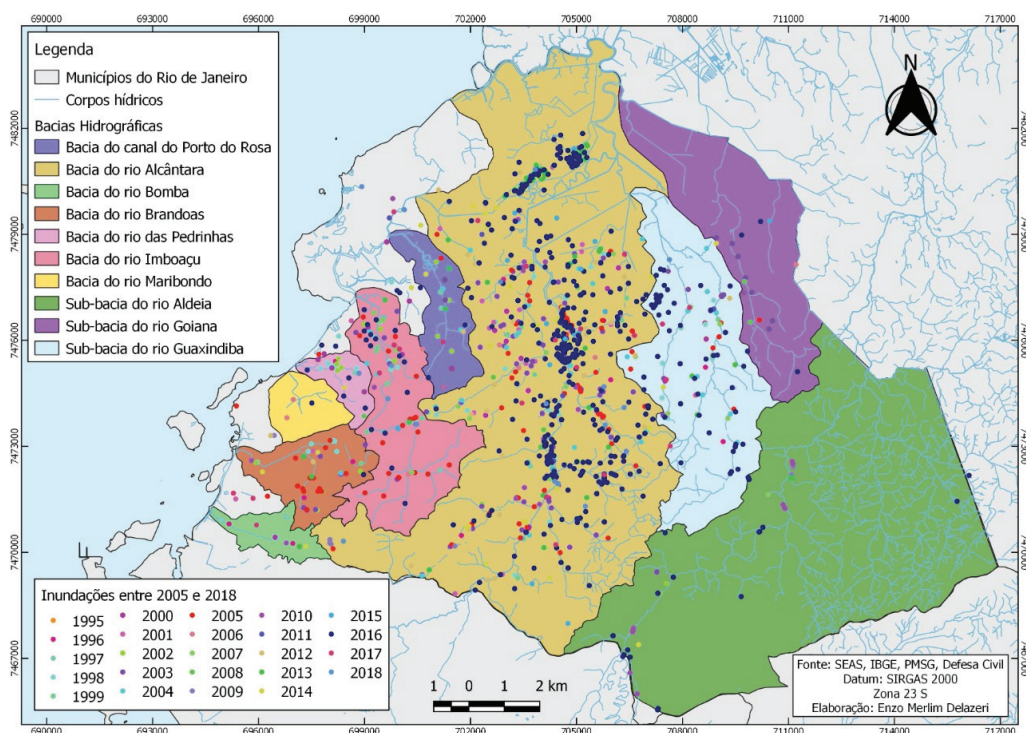
-Não foram registrados eventos de inundação pela Defesa Civil ou não foram encontrados.

Fonte: Laboratório de Geociências (LabGeo) da UERJ/FFP.  
Source: Laboratory of Geoscience (LabGeo) of UERJ/FFP.

de janeiro e 9 eventos no mês de março, totalizando 12 eventos. No ano de 2018 (ano com El Niño) a Defesa Civil registrou 11 eventos no mês de janeiro e 3 eventos no mês de fevereiro, totalizando 16 eventos de inundações no município de São Gonçalo-RJ, Brasil.

Observa-se a maior quantidade de inundações na bacia do rio Alcântara (fig. 10), a qual sofreu com intervenções ao longo dos anos, gerando alterações impactantes nos cursos dos rios e que, por sua vez, ocasiona diversos problemas para os bairros que se encontram nas imediações. Delazeri (2015) afirma que devido aos maiores registros de inundações nas regiões das bacias hidrográficas e sub-bacias destacadas, a Prefeitura do município e o Governo Estadual realizam periodicamente serviços referentes à dragagem em pequenos trechos, a fim de aprofundar os rios de modo a reduzir os eventos de inundações em tais locais.

De forma mais detalhada são mostrados os pontos de inundação ocorridos nos verões em todo o município de São Gonçalo-RJ e os bairros onde ocorreram as maiores frequências de inundações: Jardim Catarina, Colubandê e Trindade (fig. 11). Segundo Silva (2006), Pereira (2009), Vieira *et al.* (2016) Vieira e Cunha (2007), Botelho (2004), Botelho (2011), as inundações são decorrentes de diversos fatores, os quais quando combinados entre si, podem gerar transtornos de imensa magnitude, como a ocorrência de enxurradas, devido a baixa capacidade de infiltração da pavimentação asfáltica em áreas urbanas. Além disso, pode-se acrescentar como um dos fatores preponderantes a ação antrópica que exerce atividades prejudiciais à capacidade de infiltração do solo, como construções desordenadas e a deposição de lixo em vias



**Fig. 10 - Distribuição das inundações no município de São Gonçalo-RJ, Brasil**  
(Fonte dos dados: Laboratório de Geociências da UERJ/FFP, 2020).

*Fig. 10 - Distribution of floods in São Gonçalo-RJ city, Brazil*  
(Data source: Laboratory of Geoscience (LabGeo) of UERJ/FFP).

públicas, entupindo bueiros, agravando a dificuldade para o escoamento da água da chuva.

A construção de residências próximas aos rios e as encostas se tornou muito comum ao longo dos anos, classificando tais moradores como vulneráveis em áreas de risco. As edificações ocuparam as margens dos rios de maneira bastante densa. Dessa forma, quando ocorrem chuvas de volumes superiores, os rios transbordam e geram inúmeros prejuízos econômicos e sociais, como perdas materiais e, em alguns casos, perdas de vidas humanas, visto que suas águas invadem as casas mais próximas (Silva *et al.*, 2019). É importante ressaltar que toda a bacia do rio Alcântara sofre com eventos de inundações por haver um adensamento urbano intenso junto com uma infraestrutura deficiente e precária, impermeabilização crescente do solo, dentre outros problemas.

É possível observar que a maior concentração de pontos de inundação ocorre na parte central do município, onde é situada a bacia do rio Alcântara, cuja região é citada por Silva, (2006), Pereira (2009) e Daudt *et al.* (2016) por sofrer com a falta de saneamento, que contribui com a degradação dos recursos hídricos da bacia, além da mesma sofrer com diversos tipos de intervenção. Na localização da bacia do rio Alcântara, percebe-se que os bairros correspondentes são os que mais sofrem com as inundações (fig. 11).

Calculando a frequência total de inundação que cada bairro do município de São Gonçalo apresentou ao longo dos anos da série história georreferenciada, é possível observar que os bairros que tiveram as maiores frequências de inundações foram o Jardim Catarina, totalizando 11 anos de ocorrências desses eventos. O segundo bairro geralmente muito afetado é o Colubandê, o qual apresenta tais comunicados na Defesa Civil de São Gonçalo-RJ há cerca de 8 anos. E os outros bairros mais afetados são os bairros Trindade, Boaçu e Tribobó, os quais contactam a Defesa Civil devido às inundações ocorridas há cerca de 5 anos.

O bairro de Jardim Catarina teve a maior frequência de eventos de inundação (fig. 12) e é uma das regiões de maior vulnerabilidade de São Gonçalo-RJ (Silva, 2006, Pereira, 2009). Segundo Delazeri (2015) o bairro Jardim Catarina se encontra no médio curso da bacia hidrográfica do rio Alcântara e é constituído por planície flúvio-marinha, o que deixa o bairro sujeito a inundações. Conforme Vieira *et al.* (2016) e Daudt *et al.* (2016) a bacia do rio Alcântara apresenta uma dinâmica fluvial totalmente alterada por intermédio da expansão urbana. A grande maioria dos rios foram canalizados, o que interferiu em alterações ao longo de toda a bacia hidrográfica. Segundo os autores, muitos canais estão assoreados, sem presença de mata ciliar e com suas margens ocupadas, o que resulta em frequentes inundações, conforme constatado também por esse estudo.



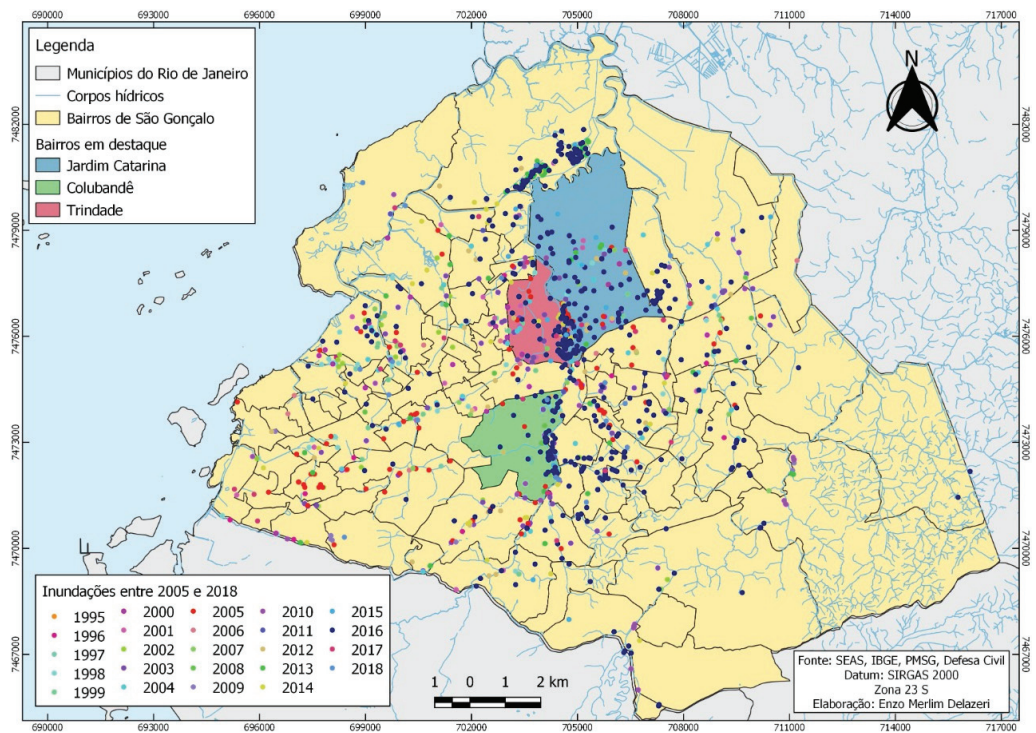


Fig. 11 - Mapa de distribuição de pontos de inundações em São Gonçalo-RJ, Brasil  
(Fonte dos dados: Laboratório de Geociências da UERJ/FFP. 2020).

Fig. 11 - Distribution of flood points in São Gonçalo-RJ city, Brazil  
(Data source: Laboratory of Geoscience (LabGeo) of UERJ/FFP).

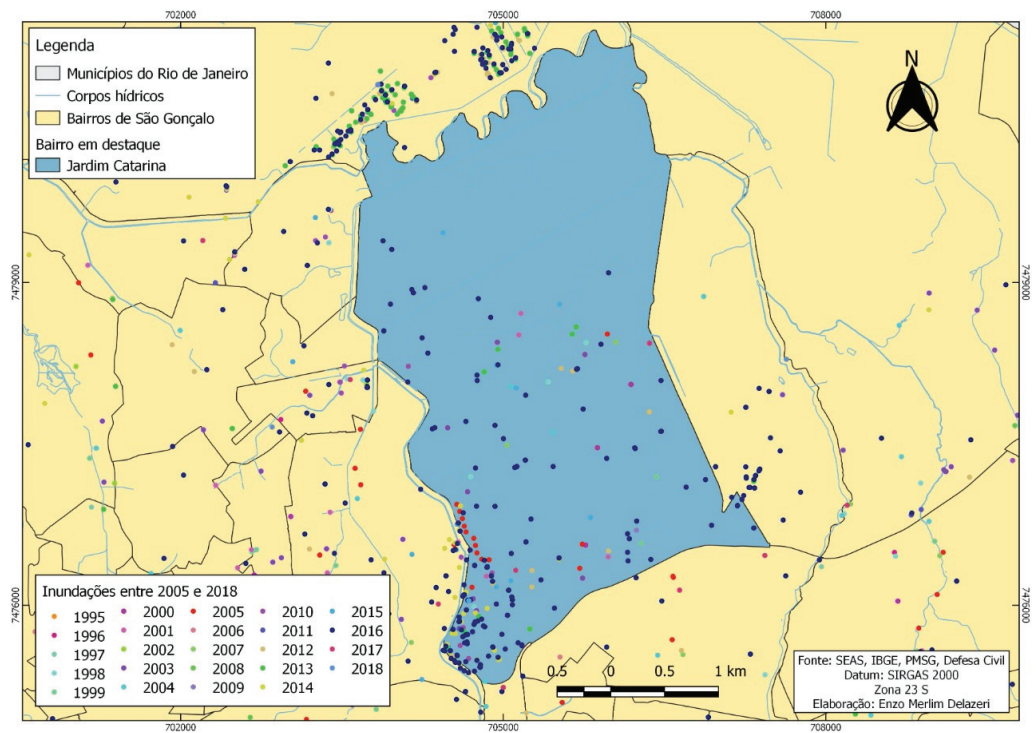


Fig. 12 - Mapa de distribuição de pontos de inundações no bairro Jardim Catarina, no município de São Gonçalo-RJ, Brasil  
(Fonte dos dados: Laboratório de Geociências da UERJ/FFP. 2020).

Fig. 12 - Distribution of flooding in Jardim Catarina neighbourhood, in São Gonçalo-RJ city, Brazil  
(Data source: Laboratory of Geoscience (LabGeo) of UERJ/FFP).

Outro bairro que se encontra em difícil situação também devido às inundações é o Colubandê que, conforme os cálculos de frequência, foi o segundo bairro que mais sofreu com as inundações. O bairro Colubandê, segundo Delazeri (2015), “[...] *está entre os bairros de maior demografia*” e entremeado por canais fluviais, o bairro também está em uma região que se encontra no médio curso da bacia do rio Alcântara. A região onde se localiza essa bacia, assim como outras bacias como do rio Imboaçú, rio Pomba e rio Guaxindiba, sofreram diversas transformações e foram perdendo suas características originais ao longo dos anos, impactando nos cursos dos rios (Daudt *et al.*, 2016). Por isso, o bairro sofre muito com as inundações, o que somando à falta de drenagem e intensa impermeabilização das superfícies ocasiona o assoreamento e a redução da calha do rio (Delazeri, 2015).

Pode-se constatar através desse trabalho que as transformações que ocorreram nos canais, principalmente nas áreas urbanas provocou mudanças nos processos fluviais, sendo que o uso desordenado da terra aumentou a erosão e as áreas impermeáveis acarretando o assoreamento do rio e as inundações.

A remoção da vegetação é uma característica urbana, que em torno dessa bacia hidrográfica também favorece a erosão de suas margens, além de contribuir para a redução na capacidade de infiltração, aumento no fluxo de chuvas ocasionando a erosão acelerada do solo e a variação na dinâmica hidrológica. Nota-se uma série de impactos ambientais presente na região, como o estrangulamento de canais, retirada da mata ciliar, canais anastomosados, ocasionando diversos problemas socioambientais.

## Conclusão

A bacia hidrográfica do rio Alcântara é uma área que apresenta um alto grau de degradação com características similares às bacias hidrográficas da Região Metropolitana do Rio de Janeiro. O crescimento urbano tem acarretado em mudanças severas no canal fazendo com que o mesmo perca as suas características naturais e haja alteração do seu comportamento. Diversas mudanças associadas a obras e modificações foram efetuadas no rio Alcântara, o que acentuou modificações nos processos fluviais.

Pode-se citar como uma das principais intervenções na bacia do rio Alcântara a canalização, que resultou em diferentes impactos. Ocorreram ainda, obras de retificação, construção de pontes, dentre outras alterações com a finalidade de aumentar a infraestrutura. Conforme verificado neste estudo, os bairros de Jardim Catarina, Colubandê e Trindade apresentam-se como os trechos mais críticos da bacia do rio Alcântara. Estas localidades estão associadas ao aumento de áreas impermeabilizadas, que resultam na diminuição da capacidade de infiltração e aumento do escoamento superficial, resultando em bairros mais propensos à inundação.

Ressalta-se ainda que no período de El Niño foi verificado um aumento das precipitações associadas ao seu volume e a sua frequência. Ao longo da série histórica analisada, alguns anos que sofreram influência do El Niño, como 2005/2006, 2009/2010, 2014/2015/2016 e 2018, e em alguns desses anos foi possível perceber o aumento da quantidade de chuvas e inundações. Somado às atuações do El Niño, houve também a presença de sistemas frontais de característica fria, cavados e atuação da ZCAS, o que ocasionou diversos eventos com elevados volumes pluviométricos, os quais ajudaram a deflagrar problemas referentes às inundações em diversos bairros.

Através das análises das chuvas em concomitância com as inundações, foi possível perceber que, por mais que o ano seja considerado seco, através da combinação ou da atuação de um único fenômeno atmosférico é possível obter eventos de chuva de forte intensidade e, a partir deste, deflagrar esses eventos críticos, como ocorreu no ano de 2016, o qual obteve o maior número de registros de toda a série histórica analisada, com 273 eventos. Essa informação pode ser confirmada através da verificação dos dados de chuva, os quais apresentaram 2 eventos maiores que 50 mm tanto nos meses de março quanto de dezembro, sendo que no mês de março foram registrados eventos maiores que 60 mm e 70 mm, os quais podem ter ajudado a deflagrar os eventos de inundação. A partir das análises dos outros anos, percebeu-se que durante as edições do El Niño houve eventos mais expressivos de inundações, que podem ser explicados devido à elevação da temperatura média no Sudeste brasileiro.

## Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio da UERJ (PROATEC) no desenvolvimento deste trabalho, através da concessão de bolsa de pesquisa.

## Referências Bibliográficas

- Bertolino, A. V. F. A., Costa, A. R. C., Bertolino, L. C., Fialho, E. S. (2007). Análise da dinâmica climatológica no município de São Gonçalo RJ - triênio 2004 - 2007. *Revista Tamoios (Impresso)*, v. IV, 1-13.
- Bertolino, A. V. F. A., Fialho, E. S., Marchioror, E., Baptista, E. C. S. (2012). As repercussões pluviais e os movimentos de massa na porção leste da Baía de Guanabara: estudo de caso de São Gonçalo - RJ. In: Charlei Aparecido da Silva; Edson Soares Fialho. (Org.). *Concepções e Ensaios da Climatologia Geográfica*. 1ed., UFGD, 233-256.
- Bertolino, A. V. F. A., Bertolino, L. C., Sacramento, A. C. R., Kede, M. L. F. M., Oliveira, A. C. B., Delazeri, E. M. (2018). Os conteúdos de Geografia física para a Educação Básica - Importância de se utilizar como ferramenta o monitoramento de Estação

- Experimental Climatológica no entendimento dos condicionantes dos movimentos de massa. In: Eliana Marta Barbosa de Moraes; Adriana Olivia Alves; Valéria De Oliveira Roque Ascensão. (Org.). *Contribuições da Geografia Física para o Ensino de Geografia*. 1ed. Goiânia: C&A Alfa Comunicação, v. I, 79-100.
- Botelho, R. G. M. (2004). Enchentes em áreas urbanas no Brasil. Seminário A questão Ambiental Urbanan: expectativas e perspectivas (CD-ROM). Universidade de Brasília - Brasília (DF).
- Botelho, R. G. M. (2011). Bacias Hidrográficas Urbanas. In: Guerra, A. J. T. *Geomorfologia Urbana*. Rio de Janeiro, Bertrand Brasil, 71-110.
- Cerri, L. E. S., Amaral, C. P. (1998) Riscos Geológico. In: Oliveira, A. M. S. e Brito, S. N. A. *Geologia de Engenharia*, São Paulo, 201-310.
- CENTRO DE PREVISÃO DE TEMPO E ESTUDOS CLIMÁTICOS- INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (2020). Monitoramento do El Niño Durante NDJ-2019/2020. Disponível em: <http://enos.cptec.inpe.br/>
- CLIMATE PREDICTION CENTER-NOAA (2019) Cold & Warm Episodes by Season. Disponível em: [https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/ensostuff/ONI\\_v5.php](https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php)
- Daudt, C., Sousa, R., Costa, F., Rocha-Leão, O. (2016). In: XI SINAGEO: Geomorfologia: Compartimentação de Paisagem, Processo e Dinâmica, 11, Maringá, Anais..., Maringá: UEM, 2016. Disponível em: <http://www.sinageo.org.br/2016/trabalhos/3/3-344-1651.html>
- Delazeri, E. M., Bertolino, A. V. F. A. (Orientadora) (2015). *Análise pluviométrica e sua relação com as enchentes em São Gonçalo, uma análise espacial por georreferenciamento das ocorrências dos anos de 2006 a 2014 (Monografia)*. Departamento de Geografia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro.
- Dereczynski, C. P., Calado, R. N., Bodstein, A. (2017). Chuvas extremas no Município do Rio de Janeiro: Histórico a partir do Século XIX. *Anuário do Instituto de Geociências - UFR*, v. 40, n.º 2, 17-30. DOI: [http://dx.doi.org/10.11137/2017\\_2\\_17\\_30](http://dx.doi.org/10.11137/2017_2_17_30)
- Ferrari, A. L. (2001). *Evolução do Graben da Guanabara. São Paulo (Tese Doutorado em Geologia)*. IGC/ Universidade de São Paulo - USP.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE) (2010). Área Territorial. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/rj/sao-goncalo.html>
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE) (2018). Área Territorial. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/rj/sao-goncalo.html>
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE) (2019). População Estimada. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/rj/sao-goncalo.html>
- Kede, M. L. F. M., Bertolino, A. V. F. A., Bertolino, L. C. (2017). Análise da precipitação sobre o efeito da Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) no município de São Gonçalo (RJ) no período de 2014 e 2015. In: *VII Simpósio Internacional de Climatologia*, Petrópolis.
- Lourenço, L. (2018). Prefácio. In: Lourenço, L., e Nunes, A. *Riscos Hidrometeorológicos*. Série Estudos Cindinicos, Ed. Riscos- Associação Portuguesa de Riscos, Prevenção e Segurança. Coimbra, 7-9.
- Meis, M. R. M. (1976). *Contribuição ao estudo do Terciário Superior e Quaternário na baixada de Guanabara. Lisboa. (Tese Doutorado em Geologia)*. Univ. de Lisboa.
- Meis, M. R. M., Amador, E. S. (1977). Contribuição ao estudo do neocenoico da Baixada da Guanabara: Formação Macacu. *Revista Brasileira de Geociências*, v.7, 150-172.
- Meis, M. R. M., Amador, E. S. (1974). Note on weathered arkosic beds. *Journal of Sedimentary Petrology*, v. 44, n.º 3, 727-737.
- Monteiro, A. M. F., Coelho Netto, A. L., Meis, M. R. M. (1974). Formação Macacu: Variações texturais e aproveitamento econômico. *Boletim Paulista de Geografia*, São Paulo, n. 49.
- Mendonça, F., Danni-Oliveira, I. M. (2007). *Climatologia: noções básicas e climas do Brasil*. São Paulo: oficina de textos.
- Nunes, L. H. (2015). Cap. 1: Os desastres naturais - Condicionantes Socioeconômicos e riscos. Ed. Oficina de Textos. *Urbanização e Desastres Naturais*. São Paulo, 13-17.
- Nunes, A. (2018). Introdução. In: Lourenço, L., Nunes, A. *Riscos Hidrometeorológicos*. Série Estudos Cindinicos, Ed. Riscos- Associação Portuguesa de Riscos, Prevenção e Segurança. Coimbra, 11-14.
- Oliveira, G. S. de. (2005). *El Niño/La Niña: Tópicos em Meio Ambiente e Ciências Atmosféricas*. São José dos Campos: Ministério da Ciência e Tecnologia. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 13 p.
- Oliveira-Júnior, J. F., Terassl, P. M. B., Gois, G. (2017). Estudo da circulação dos ventos na Baía de Guanabara/RJ, entre 2003 e 2013. *Revista Brasileira de Climatologia*, Curitiba, ano 13, v. 21, jul/dez, 59-80.
- Pegorim, J. (2015). *Como o El Niño agrava a seca no Nordeste?* Disponível em: <https://www.climatempo.com.br/noticia/2015/11/06/como-o-elnino-agrava-a-seca-no-nordeste--9975>
- Pegorim, J. (2015). *Bloqueio da ASAS enfraquece esta semana*. Disponível em: <https://www.climatempo.com.br/noticias/286605/bloqueio-da-asas-enfraquece-na-proxima-semana/>
- Pegorim, J. (2016). *O que é subsidência do ar?* Disponível em: <https://www.climatempo.com.br/noticia/2016/04/04/o-que-e-subsidencia-do-ar--9827>



- Peixoto, M. N. O., Silva, T. M., Moura, J. R. S. (1997). Reflexões sobre as perspectivas metodológicas em geografia física. *Revista da Pós-Graduação*, Departamento de Geografia UFRJ, ano I, vol. I, 35-47.
- Pereira, G. C. (2009). *Correlação dos dados de intensidade de chuva com as enchentes mais expressivas ocorridas no município de São Gonçalo - RJ no período de 2005 a 2008 (Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em licenciatura em Geografia)*. Orientador: Ana Valéria Freire Allemão Bertolino. Universidade do Estado do Rio de Janeiro - Faculdade de Formação de Professores, São Gonçalo-RJ, 35 p.
- Pereira, V. C. M., Bertolino, A. V. F. A., Bertolino, L. C., Kede, M. L. F. M., Alho, D. S., Tórni, C. A. A. (2019). Variabilidade Comportamental da Insolação e Nebulosidade em Anos sem e com El Niño (2012 e 2015). In: *Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada*, 18, 2019. Ceará, Anais..., Fortaleza: UFC. Disponível em: <http://www.editora.ufc.br/images/imagens/pdf/geografia-fisica-e-as-mudancas-globais/513.pdf>
- Pompêo, C. A. (2000). Drenagem urbana sustentável. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, Volume 5, n.º 1, Jan/Mar, 15-23. DOI: <https://doi.org/10.21168/rbrh.v5n1.p15-23>
- PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO GONÇALO (2008). *Plano Diretor Municipal Participativo: caracterização da situação atual*. Disponível em: <http://www.saogoncalo.rj.gov.br>. Acessado em: 23 set. 2008.
- Reboita, M. S., Gan, M. A., Rocha, R. P. da, Ambrizzi, T. (2010). Regimes de Precipitação na América do Sul: Uma Revisão Bibliográfica. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 25, n.º 2, 185-204.
- Reichardt, K. (1987). Água em sistemas agrícolas. São Paulo: Manole, 188 p.
- Rossi, S., Soares, M. D. O. (2017). *Effects of El Niño on the coastal ecosystems and their related services. Mercator (Fortaleza)*, 16. DOI: <https://doi.org/10.4215/rm2017.e16030>
- Salgado, C. M., Silva, T. C., Souza, G. C. A., Freitas, H. C. (2007). Caracterização temporal e espacial da precipitação no entorno do município de São Gonçalo-RJ: considerando a série histórica de 1968 a 2002. *Revista Sociedade & Natureza*, Uberlândia, n.º 19, v. 1, 19-31.
- Silva, A. T. (2006). *Levantamento das áreas de inundação no médio e baixo curso da bacia do rio Guaxindiba - Alcântara - SG/RJ (Trabalho de Conclusão de Curso de Licenciatura em Geografia)*. Orientadora: Ana Valéria Freire Allemão Bertolino. Universidade do Estado do Rio de Janeiro - Faculdade de Formação de Professores, São Gonçalo-RJ, 94 p.
- Silva, L. F. S. H., Pereira, V. C. M., Bertolino, L. C., Kede, M. L. F. M. (2019). A Importância dos Estudos Climáticos no Município de São Gonçalo (RJ) e o Papel da Escola na Construção de uma Sociedade Consciente do Clima. In: *Simpósio Internacional de Climatologia*, 8, Belém.
- Silva, J. C. da (2007). *Relação entre dados pluviométricos e as ocorrências de movimentos de massa no município de São Gonçalo - RJ nos anos de 2005 e 2006 e sua relevância para o planejamento em defesa e segurança civil (Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Geografia - São Gonçalo)*. Orientador: Luiz Carlos Bertolino. Universidade do Estado do Rio de Janeiro.
- Soares Neto, G. B., Bayma, A. P., Babinski Neto, S., Roig, H. L., Menezes, P. H. B. J. (2017). Análise de Susceptibilidade a Alagamento na Bacia Hidrográfica do Riacho Fundo - Distrito Federal por Meio de Sistemas de Informação Geográfica - SIG\*. *Revista Territorium*. Coimbra, n.º 24, 77-87. DOI: [https://doi.org/10.14195/1647-7723\\_24\\_6](https://doi.org/10.14195/1647-7723_24_6)
- Tórni, C. A. A. (2019). *Dinâmicas atmosféricas e a gênese das chuvas no município de São Gonçalo (RJ) no período de 2005 a 2016 (Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em licenciatura em Geografia)*. Orientadora: Maria Luiza Félix Marques Kede. Universidade do Estado do Rio de Janeiro - Faculdade de Formação de Professores, São Gonçalo-RJ, 160 p.
- Veyret, Y. (2007). *Os Riscos: O homem como agressor e vítima do meio ambiente*. Ed. Contexto; 2ª edição, 320 p.
- Vieira, C. D., Oliveira, A. E. F. de, Alves, W. G., Leão, O. M. da R. (2016). Análise da Degradação Ambiental na Bacia Hidrográfica do Rio Alcântara no Município de São Gonçalo, Leste Metropolitano do Rio de Janeiro. *Revista Equador (UFPI)*, vol. 5, n.º 4 (Edição Especial 03), 93-105. Disponível em: <http://www.ojs.ufpi.br/index.php/equador/article/view/5190/3051>
- Vieira, V. T., Cunha, S. B. (2007). Mudanças na rede de drenagem urbana em Teresópolis (Rio de Janeiro). In: Guerra, A. T. e Cunha, S. B. *Impactos Ambientais Urbanos no Brasil*, Rio de Janeiro. Bertrand, 112-145.
- Vieira, V. T., da Cunha, S. B. (2008). Mudanças na morfologia dos canais urbanos: alto curso do rio Paquequer, Teresópolis-RJ (1997/98-2001). *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 9(1). DOI: <http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v9i1.97>
- Zanella, M. E., Olímpio, J. L. S. (2014). Impactos pluviais, risco e vulnerabilidade em Fortaleza. In: Mendonça, F. *Riscos climáticos; vulnerabilidade e resiliência associados*. Ed. Paço Editorial, Jundiaí, 115 - 136.