



## Dry Consecutive Days for Estimation of Volumes of Pluvial Water Treatment Periods in the City of Rio de Janeiro

Rayssa Vogeler Berquó Jacob<sup>1</sup>, Alfredo Akira Ohnuma Jr<sup>2</sup>, Willian Campos Siciliano<sup>3</sup>, Ana Waldila de Queiroz Ramiro Reis<sup>4</sup>, Israel Tiago de Oliveira<sup>5</sup>

<sup>1,2,3,4,5</sup>Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ).

E-mail: [rayssajaboc@gmail.com](mailto:rayssajaboc@gmail.com), [akira@uerj.br](mailto:akira@uerj.br), [will\\_siciliano@hotmail.com](mailto:will_siciliano@hotmail.com), [anawaldila@hotmail.com](mailto:anawaldila@hotmail.com), [itoliveira32@yahoo.com.br](mailto:itoliveira32@yahoo.com.br)

**Received:** March 29<sup>th</sup>, 2017

**Accepted:** May 27<sup>th</sup>, 2017

**Published:** June 30<sup>th</sup>, 2017

Copyright ©2016 by authors and Institute of Technology Galileo of Amazon (ITEGAM). This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).  
<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



### ABSTRACT:

Studies of catchment and rainwater storage systems in buildings are critical historical data analysis of amount of precipitated rainwater to ensure multiple uses more reliable, especially due to the seasonality of precipitation events. This article aims to quantify the number of consecutive days without rain or consecutive dry days for each rainfall region of the city of Rio de Janeiro for a return period of 10 years. The methodology consists of the historical series analysis of 19 years of rainfall data from 33 automatic rainfall stations monitored by System Alert River of Rio de Janeiro City [1], with evaluation of frequency and preparation of map of extreme drought events. The method of consecutive days dry calculation by rainfall zone assists in determining areas most susceptible to extreme dry events, so it facilitates in determining the storage volume for rainwater for non-potable use purposes [2]. The results show seasonal variations throughout the city, although in neighboring areas rainfall caused mainly by orographic rainfall. Thus, one can conclude that it is of fundamental importance to the study of consecutive dry days to determine rainwater storage volumes in periods of drought, on scales that are regionally representative.

**Keywords:** Pluviometric Stations, Historical Series, Method Of Consecutive Days Without Rain.

### Dias consecutivos secos para estimativa de volumes de aproveitamento de águas pluviais em períodos de estiagem na Cidade do Rio de Janeiro

#### RESUMO

Nos estudos de sistemas de captação e armazenamento de água da chuva em edificações são fundamentais análises de dados históricos de quantidade das águas pluviais precipitadas de forma a garantir usos múltiplos mais confiáveis, especialmente devido à sazonalidade dos eventos de precipitação. Este artigo tem por objetivo quantificar o número de dias consecutivos sem chuvas ou dias consecutivos secos para cada região pluviométrica do município do Rio de Janeiro para um período de retorno de 10 anos. A metodologia consiste da análise de série histórica de 19 anos de dados pluviométricos obtidos de 33 estações pluviométricas automáticas monitoradas pelo Sistema Alerta Rio da Prefeitura do Rio de Janeiro, com avaliação de frequência e elaboração de mapa dos eventos extremos de estiagem. O método de cálculo de dias consecutivos secos por zona pluviométrica auxilia na determinação de áreas mais susceptíveis aos eventos extremos de seca, de modo que facilita na determinação do volume de armazenamento de águas pluviais para fins de aproveitamento não potável. Os resultados revelam variações sazonais em todo o município, ainda que em zonas pluviométricas vizinhas ocasionadas sobretudo por chuvas orográficas. Assim, pode-se concluir que é de fundamental importância o estudo de dias consecutivos secos para determinação de volumes de armazenamento de águas pluviais em períodos de estiagem, em escalas que sejam regionalmente representativas.

**Palavras-Chaves:** Estações Pluviométricas, Série Histórica, Método de dias Consecutivos sem Chuvas.

#### I. INTRODUÇÃO

Regimes pluviométricos regulares no decorrer do tempo são capazes de garantir a oferta de recursos hídricos de determinadas regiões. No entanto, áreas de intensa urbanização, elevada densidade demográfica e consumo desenfreado de

produtos e serviços geram demandas cada vez maiores dos recursos hídricos, acarretando um maior valor econômico e com a disponibilidade por água prejudicada e ainda mais deficitária à medida que são observadas condições climáticas extremas ou anormais.

Dados observados nos últimos 10 anos pelo Sistema Alerta Rio da Prefeitura Municipal do Rio de Janeiro informam redução de até 55% do volume de chuvas obtido no ano de 2014 em 33 estações distribuídas no município [1]. Segundo o Boletim de Monitoramento dos Reservatórios do Sistema Hidráulico do Rio Paraíba do Sul, cujas informações auxiliam na tomada de decisões para garantir os usos múltiplos dos recursos hídricos para Região Metropolitana do Rio de Janeiro, o final do ano de 2014 apresentou 2,6% do volume útil observado no reservatório equivalente, o que corresponde à uma situação extremamente emergencial de respostas de adaptação no atendimento dos usos múltiplos da água [3].

Nas condições apresentadas de estiagens prolongadas, jamais observadas na história de dados pluviométricos monitorados desde o ano de 1910 [4], o resultado é a incapacidade dos volumes mínimos armazenados em reservatórios de atender aos usos múltiplos dos recursos hídricos, especialmente onde a demanda é alta, como nos casos das regiões metropolitanas.

O efeito das mudanças do clima de longo prazo requer análises específicas de determinados eventos, como por exemplo, dos extremos climáticos de precipitação. Os cálculos de determinados índices definem períodos excessivos, como da máxima estiagem num dado ano ou o número de dias consecutivos secos [5]. Essas informações auxiliam no mapeamento de áreas mais vulneráveis e susceptíveis aos maiores volumes de armazenamento de sistemas de captação e aproveitamento de águas pluviais.

Nesse sentido, este trabalho teve como objetivo determinar e mapear o índice de dias consecutivos secos como extremo climático no município do Rio de Janeiro a partir de série histórica de precipitação disponível pelo Sistema Alerta Rio da Prefeitura do Rio de Janeiro como alternativa para determinação de regiões vulneráveis aos períodos de seca e, portanto, de maior necessidade no armazenamento de águas pluviais para fins não-potáveis.

## II. MATERIAIS E MÉTODOS

Para análise dos eventos de máxima estiagem diária os registros consistem de dados obtidos pelo Sistema Alerta Rio da Prefeitura do Rio de Janeiro (disponível em <http://alertario.rio.rj.gov.br/>), composto por 33 estações pluviométricas automáticas e distribuídas em locais estratégicos do município do Rio de Janeiro (Figura 1). A série histórica deste estudo é composta de 19 anos consecutivos, entre 1997 e 2015.

De cada estação pluviométrica se obtém dados observados de 15 minutos, de modo que se permite determinar a precipitação diária acumulada. Com esses registros, estimam-se as ofertas hídricas de origem pluvial para cada zona pluviométrica na condição de oferecer aos usuários o volume máximo aproveitado de chuva, assim como os dias consecutivos secos para suprir determinadas demandas em períodos de estiagem prolongada.

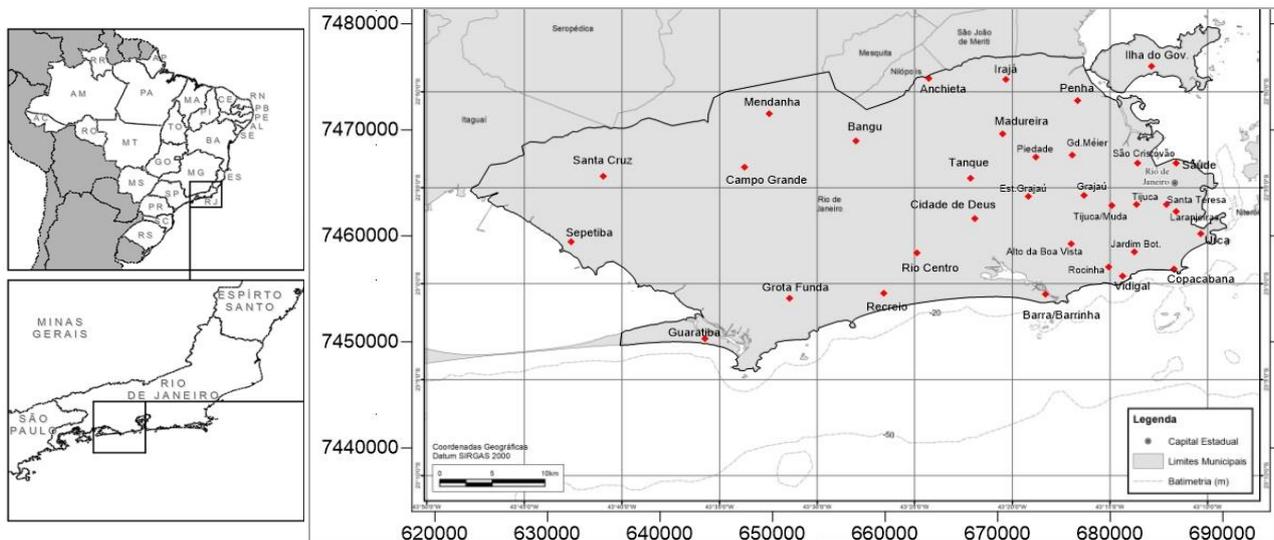


Figura 1: Localização de estações pluviométricas automáticas do Sistema Alerta Rio da Prefeitura do Rio de Janeiro. Fonte: Prefeitura Municipal do Rio de Janeiro, (2016).

O Método de Dias Consecutivos Secos [2] identifica o maior intervalo consecutivo diário sem chuvas a partir de série histórica de dados de precipitação, com ajuste estatístico de distribuição de frequência de Gumbel para determinado período de recorrência. O método considera precipitações diárias abaixo de 1 mm como dias secos. A determinação dos dias consecutivos secos, neste trabalho, considera período de retorno de 10 anos, o que significa uma probabilidade de 10% de ocorrer o evento de estiagem num dado ano (Equação 1).

$$x = \bar{x} - \sigma \left[ 0,45 + 0,7797 \cdot \ln \left( \frac{TR}{TR - 1} \right) \right] \quad (1)$$

Sendo  $x$ : Dias consecutivos secos da série histórica selecionada;  $\bar{x}$ : Média dos dias secos consecutivos;  $\sigma$ : Desvio padrão da amostra;  $TR$ : Período de retorno em anos.

Após a determinação dos dias consecutivos secos obtidos de cada estação pluviométrica obteve-se a representação gráfica das condições de estiagem máxima pelo método de Krigagem ou de interpolação, cuja tabulação é definida em função das posições geográficas. Parte-se do princípio de que unidades de análises mais próximas entre si são mais parecidas do que unidades mais afastadas. Dessa forma, o método utiliza funções matemáticas de modo a acrescentar pesos maiores nas posições vizinhas aos

pontos amostrais e pesos menores em pontos mais distantes. Na combinação linear desses dados, constituem-se os pontos de interpolação [6][7].

A determinação do volume de armazenamento ou de reservação  $V_{res}$  considera o consumo de água diário  $C_{ap}$  para fins não-potáveis, assim como os dias consecutivos secos ou de estiagem ( $Est$ ) a partir da equação (2).

$$V_{res} = Est \times C_{ap} \quad (2)$$

Dessa forma, determina-se o volume máximo de armazenamento a partir de dados de consumo estimados pela Tabela 1.

Tabela 1: Valores médios de consumo por usos internos e externos na edificação (TOMAZ, 2009).

Uso Interno	Cálculo	Valores Médios
Vaso Sanitário (Válvula Hidra)	(5 descargas) x (12 litros/descarga) x (1,08 vazamento)	64,8 litros/pessoa
Vaso Sanitário (Caixa Acoplada)	(5 descargas) x (6 litros/descarga) x (1,08 vazamento)	32,4 litros/pessoa
Área de Jardim	2 litros/dia/m <sup>2</sup>	2 litros/dia/m <sup>2</sup>
Área de Limpeza	50 litros/dia	50 litros/dia
Limpeza do Carro	4 lavagens/mês	4 lavagens/mês

Fonte: [8].

As condições apresentadas valem para estimativa de volumes de reservação de águas pluviais tendo como base estiagens prolongadas, de modo que sejam identificadas zonas pluviométricas compatíveis com as redes de abastecimento de água.

### III. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos de precipitação diária em cada estação pluviométrica do município do Rio de Janeiro permitem análise gráfica de regiões com maior chance de ocorrer períodos

prolongados de dias secos, de modo a facilitar na tomada de decisões descentralizadas junto aos usuários da bacia.

A representação gráfica de dias consecutivos secos com período de recorrência de 10 anos a partir de dados obtidos de estações pluviométricas localizadas estrategicamente na cidade do Rio de Janeiro identifica regiões com maior necessidade de reservação de água na condição de reservatórios de abastecimento na mesma localidade da zona pluviométrica. A plotagem do mapa de isolinhas sobreposto ao município do Rio de Janeiro demonstra as estiagens prolongadas equivalentes aos dias consecutivos secos (Figura 2).

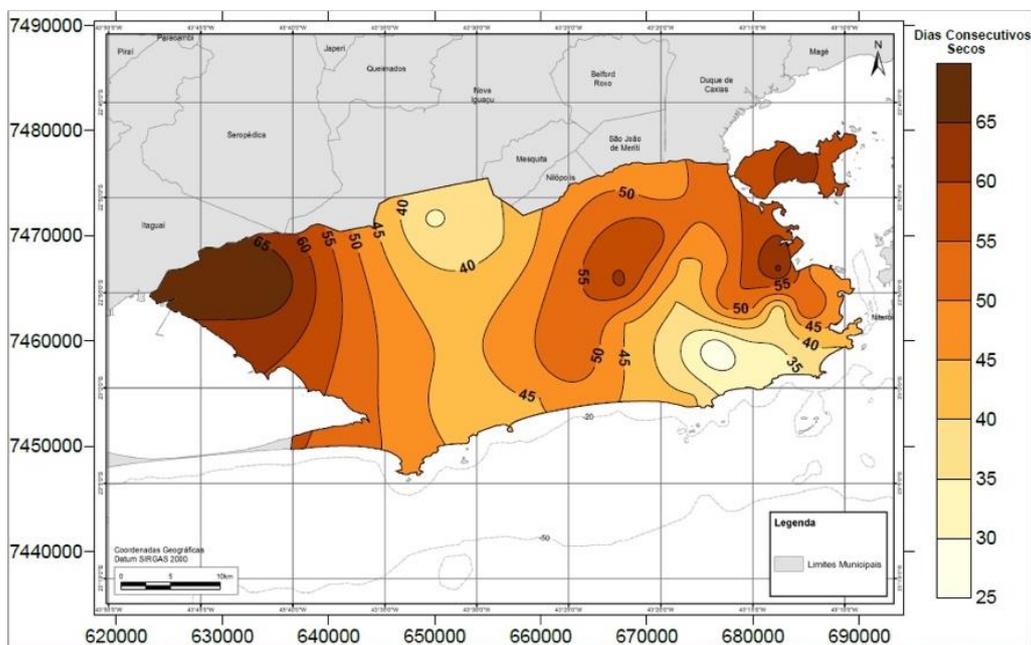


Figura 2: Dias Consecutivos Secos sobreposto ao município do Rio de Janeiro pelo método de Krigagem para avaliação de volumes de armazenamento de águas pluviais.

Fonte: Prefeitura Municipal do Rio de Janeiro, (2016).

Na sobreposição de mapas de uso e ocupação do solo, percebe-se que regiões preservadas como do Parque Nacional da Floresta da Tijuca, Parque Estadual da Pedra Branca e Parque Estadual do Mendanha predispõem de menores incidências de

dias consecutivos secos, de modo compatível às maiores precipitações médias anuais observadas nessas localidades ou nas proximidades para o mesmo período. Dessa forma, bairros como Rocinha, Vidigal, Jardim Botânico, Tijuca, Campo Grande e

Mendanha, além do Alto da Boa Vista, são locais que estimam volumes reduzidos de armazenamento de águas pluviais, para as mesmas condições de demanda, embora sejam regiões de elevada precipitação média acumulada anual. Embora com estudo de série histórica de 10 anos, os valores obtidos de precipitação neste artigo são condizentes com os apresentados por [7].

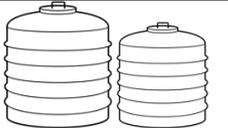
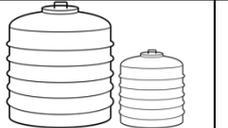
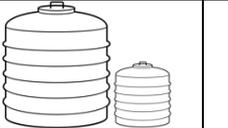
Por outro lado, regiões de planície ou nas proximidades ao norte do município concentram-se zonas de baixo índice pluviométrico, de modo que necessitam de maiores volumes de reservação no atendimento aos prolongados períodos de estiagem, como nos bairros de Madureira, Penha e São Cristovão. Neste trabalho, dados não disponíveis pouco afetaram na determinação de dias consecutivos secos, pois as falhas detectadas obtiveram preenchimento como dias secos, de modo que supervalorizaram os períodos de estiagem.

As condições apresentadas são determinantes no cálculo de volumes de águas pluviais passíveis de aproveitamento à

medida que se conhecem as redes de abastecimento, situadas em áreas próximas, sobretudo pela localização dos reservatórios que atendem tais regiões. Na determinação dos volumes de aproveitamento de águas pluviais, este trabalho considera demanda fixa por região ou bairro identificado pelas estações pluviométricas de modo a atender o mesmo critério. Os dados de consumo de água são válidos para 01 (uma) unidade habitacional de caráter unifamiliar composta por 04 (quatro) pessoas, com projeção de aproveitamento das águas pluviais exclusivamente no vaso sanitário com caixa acoplada, com total de 129,6 litros de consumo diário.

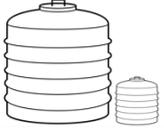
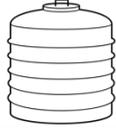
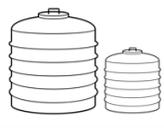
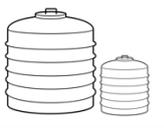
Os resultados dos volumes de armazenamento compreendem arranjos de dados organizados por classes ou categorias de reservatórios comercialmente disponíveis no mercado, sendo caixas d'água convencionais com capacidade nominal utilizadas de 1000, 1500, 2000, 3000 e 5000 litros (Tabelas 2 e 3).

Tabela 2: Volumes dimensionados de reservatórios entre 10000 e 6000 litros de aproveitamento de águas pluviais em épocas de estiagens prolongadas no município do Rio de Janeiro-RJ.

Santa Cruz, S. Cristovão,	Ilha do Governador, Sepetiba, Tanque, Madureira	Sta Tereza, Grajaú, Barra/Rio Centro, Penha, Guaratiba	Laranjeiras, Tijuca/Muda, Anchieta	Irajá, Saúde, Grande Méier, Cidade de Deus, R. Bandeirantes, Piedade
				
(2 x 5000) L	(5000 + 3000) L	(5000 + 2000) L	(5000 + 1500) L	(5000 + 1000) L
10000 L	8000 L	7000 L	6500 L	6000 L

Fonte: Prefeitura Municipal do Rio de Janeiro, (2016).

Tabela 3: Volumes dimensionados de reservatórios entre 5500 e 3000 litros de aproveitamento de águas pluviais em épocas de estiagens prolongadas no município do Rio de Janeiro-RJ.

Grota Funda, Campo Grande, Urca	Barra/Barrinha, Bangu, Estrada Grajaú/Jacarepaguá	Tijuca, Copacabana, Mendanha	J. Botânico, Vidigal, Rocinha	Alto da Boa Vista
				
(5000 + 500) L	5000 L	(3000 + 1500) L	(3000 + 1000) L	3000 L
5500 L	5000 L	4500 L	4000 L	3000 L

Fonte: Prefeitura Municipal do Rio de Janeiro, (2016).

#### IV. CONCLUSÕES

Este trabalho permite concluir que:

(1) Precipitações diárias com características orográficas se distribuem de forma aleatória no tempo e no espaço em regiões com características peculiares de montanhas ou oceânicas, de modo que afetam às condições de cálculo de estiagens prolongadas e que, portanto influenciam na determinação de volumes de armazenamento para fins de aproveitamento de águas pluviais;

(2) O método de dias consecutivos secos é apropriado no dimensionamento de reservatórios de águas pluviais desde que conhecidas as características de localização das redes de abastecimento, sobretudo pela compatibilidade sazonal entre oferta e a demanda hídrica na região ou zona pluviométrica;

(3) O mapa de isolinhas para interpretação de estiagens prolongadas elaborado pelo método de Krigagem é bastante adequado na interpolação gráfica das condições de dias secos, além de facilitar a interpretação de índices de eventos hidrológicos extremos.

Recomenda-se para trabalhos futuros aprimorar a análise dos dados de séries históricas de precipitação obtidas pelo Sistema Alerta Rio da Prefeitura do Rio de Janeiro, no preenchimento de falhas eventuais ocorridas por motivos de manutenção e correção do sistema. Sugere-se também o estudo de viabilidade econômico-financeira como alternativa para criação de políticas públicas que incentivem a execução de sistemas de captação, armazenamento e aproveitamento de águas pluviais.

## V. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro pela concessão de bolsa de Iniciação Científica 2016/1, Processo 224274/2016 e ao CNPq, Edital Chamada Universal MCTI/CNPq nº 14/2014, Faixa A Processo nº 457688/2014-9 pelo apoio financeiro ao desenvolvimento deste trabalho. Os autores também agradecem ao site <https://thenounproject.com/> por tornar disponíveis imagens produzidas por autores independentes.

## VI. REFERÊNCIAS

- [1] Alerta Rio. **Sistema Alerta Rio da Prefeitura do Rio de Janeiro. Registro de dados pluviométricos**. Disponível em: <http://alertario.rio.rj.gov.br/>. Acesso em 20/08/2016.
- [2] Group Raindrops. **Aproveitamento da água da chuva**. KOBİYAMA *et al.* (tradução). Curitiba-PR, Organic Trading, 196 p. 2002.
- [3] Ohnuma Jr., A.A.; Mendiondo, E.M. **Estudo de técnicas compensatórias de drenagem urbana como proposta de gestão das águas pluviais**. In: XI Congresso Brasileiro de Defesa do Meio Ambiente. Água e Saneamento. Rio de Janeiro-RJ. Junho. 2015.
- [4] AGENCIA NACIONAL DE AGUAS. **Irrigação é a finalidade mais outorgada de 2012**. Brasília/DF, 2013. Disponível em: [http://www2.ana.gov.br/Paginas/imprensa/noticia.aspx?id\\_noticia=11655](http://www2.ana.gov.br/Paginas/imprensa/noticia.aspx?id_noticia=11655). Acesso em 08 julho 2016.
- [5] Alexander, L. V. et al. **Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation**, J. Geophys. Res., 111, D05109, 2006. doi:10.1029/2005JD006290.
- [6] Jakob, A. A. E. **A Krigagem como Método de Análise de Dados Demográficos**. In: Encontro da Associação Brasileira de Estudos Populacionais, 13., Ouro Preto, 2002.
- [7] Dereczynski, C. P.; Oliveira, J. S.; MACHADO, C. O. **Climatologia da precipitação no município do Rio de Janeiro**. Revista Brasileira de Meteorologia, v.24, n.1, 24-38, 2009.
- [8] Tomaz P. **Previsão de Consumo de água não potável - Aproveitamento de água de chuva em áreas urbanas para fins não potáveis**, 2009.