



ANÁLISE DA PRECIPITAÇÃO DA BACIA DO RIO PARAÍBA DO SUL COM ENFOQUE NOS ANOS DE 2014 A 2017

Larissa Ferreira da Costa ^{1*}
José Edson Falcão de Farias Júnior ²
Rosa Maria Formiga Johnson ³
Ana Carolina Novello Petrunaro ⁴
Natália Pinheiro Ramos ⁵

1 Engenheira Civil, MSc. em Recursos Hídricos, Chefe de serviço do Instituto Estadual do Ambiente
2 Engenheiro Civil, MSc. em Recursos Hídricos, Assessor especial da Secretaria de Estado do Ambiente
3 Engenheira Civil, *Docteur en Sciences et Techniques de l'Environnement*, Professora-Adjunta da UERJ
4 Estagiária em Engenharia de Recursos Hídricos e Meio Ambiente do Instituto Estadual do Ambiente
5 Estagiária em Engenharia de Recursos Hídricos e Meio Ambiente do Instituto Estadual do Ambiente

* larissafcosta.inea@gmail.com

RESUMO

Os verões 2013/2014 e 2014/2015 na região sudeste do Brasil apresentaram déficits significativos de precipitação, levando a vazões reduzidas e condições de seca com impactos na disponibilidade hídrica para os usuários de água dos diferentes setores. As chuvas de 2016 se aproximaram das médias históricas, no entanto em 2017 voltou-se a ter um ano mais seco. O rio Paraíba do Sul, regularizado por quatro reservatórios, precisou de uma operação mais controlada entre os anos de 2014 e 2016 e uma série de medidas de enfrentamento da estiagem por conta destas baixas precipitações e consequente diminuição das vazões. Com intuito de analisar as precipitações observadas entre os anos de 2014 e 2017 na Bacia do rio Paraíba do Sul, este artigo apresenta um estudo de qualificação do regime pluviométrico através de dois índices que utilizam apenas os dados de precipitação: Porcentagem Normal - PN e Índice de Precipitação Padronizada - SPI. Para tanto utilizou-se os registros de estações pluviométricas existentes na bacia e com disponibilidade de dados suficientes para a análise. Os dois índices apontaram situações de seca na maioria das estações para os anos em análise.

INTRODUÇÃO

A seca é um fenômeno natural que, dependendo da sua magnitude, pode ser desastroso, com impactos nas esferas socioeconômica, agrícola e ambiental. Difere de outros desastres naturais por seu processo se dar de forma lenta e ter seu início e fim de difícil determinação. Por ser um processo lento, frequentemente não atrai a atenção da comunidade no seu início, persistindo seu impacto mesmo depois do término do evento, podendo ter uma vasta extensão espacial e temporal (Molina; Lima, 1999).

A região sudeste do Brasil, em especial a bacia do rio Paraíba do Sul, que é formada por municípios dos estados de Minas Gerais, Rio de Janeiro e São Paulo, vivenciou entre os anos de 2014 e 2017, expressivos déficits de precipitação, levando a condições de seca com impactos na disponibilidade de água para abastecimento humano, geração hidrelétrica, indústria e agricultura.

Com objetivo de qualificar a magnitude da estiagem na Bacia do rio Paraíba do Sul, a bacia foi dividida em sete regiões e este trabalho realizou uma análise da precipitação observada durante estes anos em estações espalhadas nestas diferentes áreas da bacia.

Vários pesquisadores criaram índices que permitem analisar as secas, incluindo a identificação do seu início e do seu fim bem como a medição da sua severidade e impactos. De acordo com Barra *et al.* (2002), tais índices “consistem em equações com variáveis climáticas e procedimentos estatísticos para determinar a intensidade, a duração e a frequência” de uma dada seca em uma localidade, ou região específica. Os índices escolhidos neste trabalho foram: o Porcentagem Normal e o Índice de Precipitação Padronizada – SPI. Ambos utilizam apenas os

registros de precipitações e foram aplicados com intuito de comparar as ocorrências nos anos hidrológicos de 2013/2014, 2014/2015, 2015/2016 e 2016/2017 com o registro histórico da própria estação.

A BACIA DO RIO PARAÍBA DO SUL

A bacia do rio Paraíba do Sul possui um complexo sistema hidráulico composto por quatro reservatórios de grande porte e uma transposição de água (em Santa Cecília, no município de Barra do Piraí) para a bacia do rio Guandu, cujas regras de operação são definidas pela Agência Nacional de Águas. O denominado ‘reservatório equivalente’ (RE) é composto por três reservatórios em São Paulo (Paraibuna, Santa Branca e Jaguari) e um quarto no Estado do Rio de Janeiro (Funil). Este conjunto tem capacidade total de reservação de 7.294,70 milhões de metros cúbicos, dos quais 4.341,90 milhões de metros cúbicos estão dentro da faixa normal de operação do setor elétrico (volume útil total). O reservatório de Paraibuna é o que possui maior capacidade de armazenamento (61% do volume útil), seguido por Jaguari (18%), Funil (14%) e Santa Branca (7%).

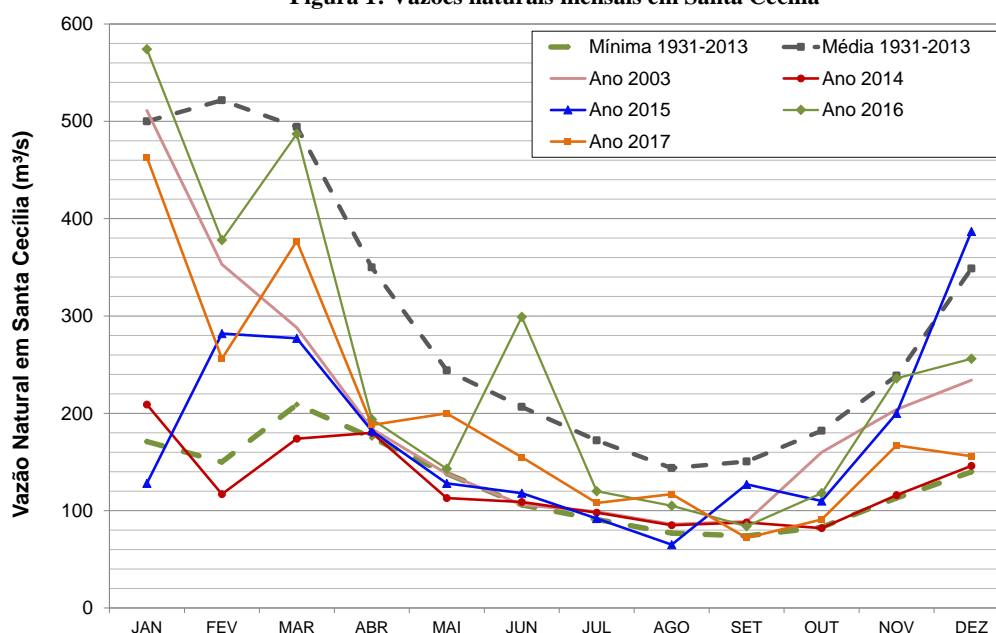
Esta bacia é uma reserva estratégica de atendimento das próximas gerações, tanto da própria região hidrográfica como da região metropolitana do Rio de Janeiro e bacia do rio Guandu. Para estas regiões, o rio Guandu constitui o único manancial com disponibilidade de atendimento às demandas futuras de água.

Possui registros pluviométricos com médias anuais variando da ordem de 700 a 3500 mm dependendo da região.

Ao longo de 2014 e 2015 a diminuição e ausência de chuvas implicou no registro de vazões muito baixas e, como consequência, reduções expressivas dos volumes dos reservatórios do sistema hidráulico do Paraíba do Sul. Foram necessárias diversas medidas para o enfrentamento da estiagem e a principal foi a redução progressiva da vazão objetivo em Santa Cecília (COSTA *et al.*, 2015).

Para ilustrar as vazões observadas em um dos pontos de controle da bacia, foram traçadas no gráfico da Figura 1 as vazões naturais mensais em Santa Cecília nos anos de 2014, 2015, 2016 e 2017 e as mínimas e médias observadas no histórico de 1931 a 2013, além da vazão do ano de 2003 (que até então tinha sido um dos piores anos do histórico). É possível verificar que, com exceção dos meses de dezembro/2015 e janeiro e junho/2016, todos os demais meses apresentaram vazões abaixo da média e muito próximas ou abaixo das mínimas até então registradas.

Figura 1: Vazões naturais mensais em Santa Cecília

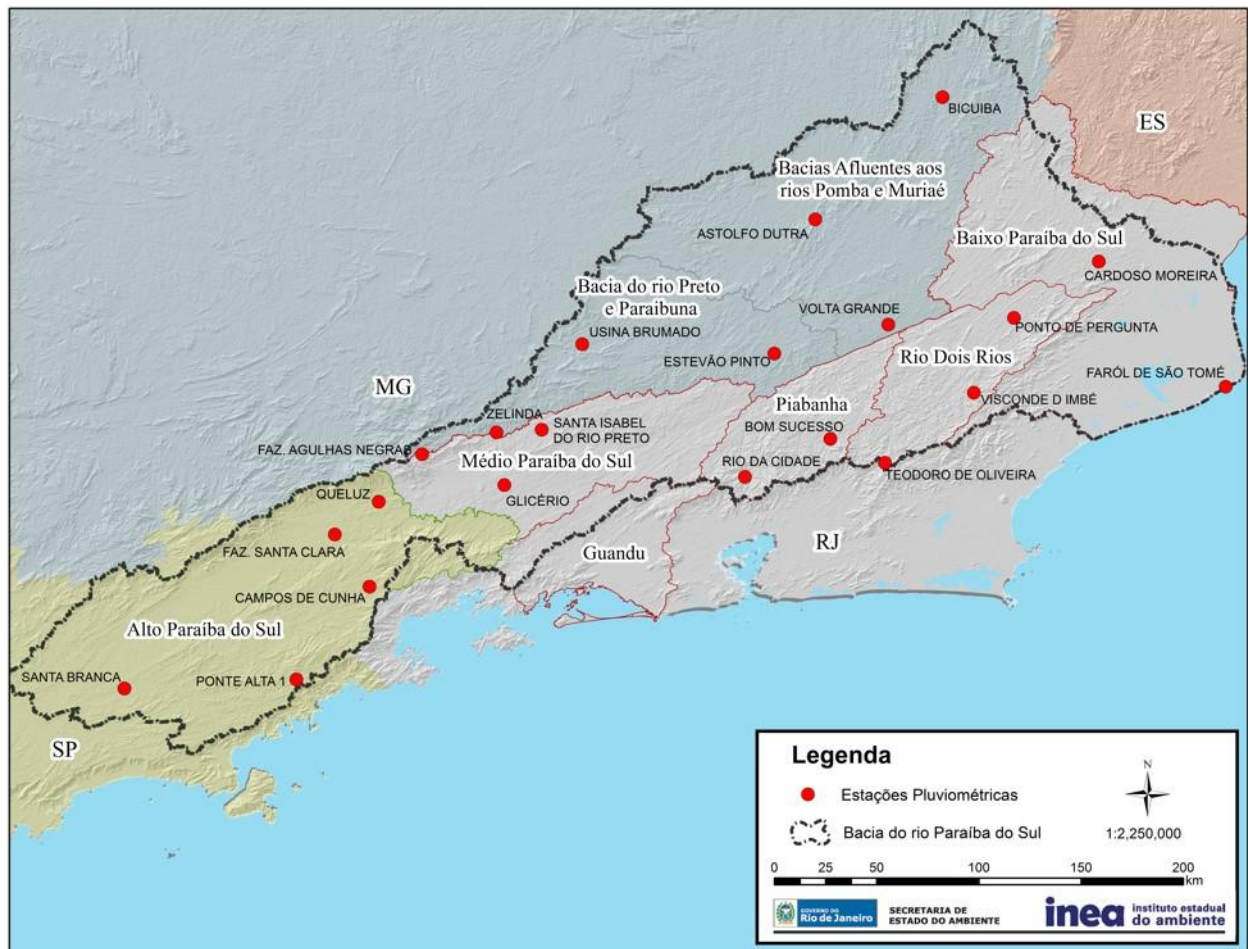


DADOS UTILIZADOS

Os dados utilizados neste estudo foram os registros de chuvas obtidos no site da Agência Nacional das Águas (ANA). A disponibilidade de dados foi o critério adotado na seleção das estações. Procurou-se as que continham dados de 1968 a 2013, sem falhas ou com poucas falhas nos anos hidrológicos 2013/2014, 2014/2015, 2015/2016 e 2016/2017.

A bacia do rio Paraíba do Sul foi dividida em 7 regiões: uma contendo o território paulista (Alto Paraíba do Sul), quatro no território fluminense (Médio Paraíba do Sul, Piabanha, Rio dos Rios e Baixo Paraíba do Sul) coincidentes com os limites das regiões hidrográficas do Estado do Rio de Janeiro e duas no território mineiro (do rio Preto e Paraíba e Afluentes aos rios Pomba e Muriaé). Essas regiões, assim como as 21 estações selecionadas para este estudo, estão mostradas na Figura 2.

Figura 2: Regiões e estações pluviométricas utilizadas



Para uma melhor caracterização do ciclo hidrológico, utilizou-se o ano hidrológico nas avaliações, normalmente definido como sendo de outubro a setembro para a região sudeste.

Não foi incluído, no escopo deste trabalho, uma análise de homogeneidade dos dados entre as estações da mesma região. Realizou-se poucos preenchimentos de falhas nos dados a nível diário, e excluiu-se os anos que



apresentaram falhas em mais de um mês. Em alguns casos foi necessário preencher o dado mensal com sua média histórica.

ÍNDICES UTILIZADOS

Índice de Porcentagem Normal (Percent of Normal – PN)

Este índice tem a vantagem de ser simples e de fácil determinação. Utiliza em sua definição apenas dados de precipitação e costuma ser adotado em análises de uma única região ou uma única estação. O cálculo é feito dividindo a precipitação em análise pela precipitação normal (considerada a média de um período de pelo menos 30 anos), multiplicado por 100, para obter o resultado em porcentagem.

Neste trabalho adotou-se a escala de tempo anual (ano hidrológico) e a precipitação normal como a média dos anos hidrológicos de 1969 a 2013.

A desvantagem deste índice se refere à distribuição da precipitação no período considerado, que não obedece a uma distribuição normal. Nessas circunstâncias, há uma diferença entre a média e a mediana, sendo a mediana o valor com uma probabilidade de ocorrência de 50%. Isso ocorre porque a maioria dos valores hidrológicos aleatórios em escalas mensais ou sazonais não apresenta uma distribuição normal (Fernandes *et al.*, 2009).

A Tabela 1 ilustra a classificação dos valores do índice de Porcentagem Normal, adaptada de Gois (2005), adotada nas análises deste trabalho.

Tabela 1: Classificação do Índice de Porcentagem Normal

| PN | Classificação |
|----------|----------------|
| >150% | Úmido alto |
| 130-150% | Úmido moderado |
| 110-130% | Úmido baixo |
| 110-90% | Normal |
| 90-70% | Seco fraco |
| 70-50% | Seco moderado |
| <50% | Seco severo |

Índice de Precipitação Padronizada (*Standardized Precipitation Index - SPI*)

O cálculo do índice SPI para qualquer local é baseado no registro de precipitação de longo prazo ajustado a uma distribuição de probabilidade. Essa distribuição é então transformada para uma distribuição normal, de modo que o SPI médio para uma localização e período desejados seja zero (Edwards; McKee, 1997). Os valores positivos de SPI indicam uma precipitação maior do que a mediana ou média e os valores negativos indicam precipitações menores. Devido ao fato do SPI ser normalizado, climas mais secos ou úmidos podem ser representados no mesmo modo.

A metodologia consiste em recolher registros contínuos de precipitação mensal, para um período mínimo desejável de 30 anos. Posteriormente são escolhidas as escalas de análise (1, 3, 6, 12, 24 ou 48 meses), onde o valor do SPI de cada mês é calculado a partir do acumulado dos meses anteriores de acordo com a escala de tempo escolhida. A série de precipitação é então ajustada à distribuição probabilística Gama para definir a relação entre a probabilidade de ocorrência e os valores da precipitação. Os parâmetros α e β são estimados em cada estação para cada escala de tempo e para cada mês do ano. Calculada a probabilidade acumulada, $G(x)$, sendo x a variável em análise, determina-se o valor de Z (variável normalizada) para a mesma probabilidade, obtendo-se assim, o índice normalizado. Valores positivos destes índices indicam que a variável respectiva assume valores superiores à sua média e valores negativos indicam que a variável é inferior à média. Assim, os períodos mais úmidos são assinalados por valores positivos destes índices.



Na classificação são comumente utilizados sete limiares, que vão desde a situação mais extrema entre termos de déficit de precipitação e excesso de precipitação. Os limiares correspondem ao número de desvios padrão que a precipitação cumulativa observada se afasta da média climatológica. McKee (1993) definiu a classificação apresentada na Tabela 2, adotada neste trabalho.

Tabela 2: Classificação dos períodos secos e úmidos do SPI segundo McKee (1993)

| SPI | Categoria |
|---------------|---------------------|
| >2,00 | Extremamente úmido |
| 1,5 a 1,99 | Severamente úmido |
| 1,0 a 1,49 | Moderadamente úmido |
| 0,99 a -0,99 | Normal |
| -1,00 a -1,49 | Moderadamente Seco |
| -1,50 a -1,99 | Severamente Seco |
| <-2,00 | Extremamente Seco |

Neste trabalho estão apresentados os resultados para o período analisado de 1969 a 2017 para o SPI 12 (escala de análise de 12 meses) do mês de setembro, que corresponde a quantidade de chuva ocorrida no ano hidrológico. E os resultados obtidos para o SPI 6 (escala de análise de 6 meses) dos meses de março e setembro dos anos de 2014 a 2017, onde é possível caracterizar mais detalhadamente as precipitações ocorridas durante os períodos seco e úmido destes anos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 3, adiante, mostra os resultados obtidos pelo índice de Porcentagem Normal - PN. De uma maneira geral observa-se que a maior parte das estações apresentaram para os anos hidrológicos 2013/2014, 2014/2015, 2015/2016 e 2016/2017 precipitações próximas ou inferiores à média histórica de 1969 a 2013. As classificações indicaram casos de anos normais para seco chegando a seco moderado.

Utilizando o índice de Precipitação Padronizada- SPI12 para o mês de setembro, foram obtidos os resultados apresentados na Figura 4 que representa para cada um dos anos entre 1969 e 2017 o acumulado do ano hidrológico correspondente. Destaca-se que os anos hidrológicos de 1975/1976, 1982/1983, 1984/1985, 2004/2005, 2007/2008 a 2010/2011 apresentaram-se como anos úmidos. Já os anos de 1968/1969 a 1970/1971, 1973/1974, 1974/1975, 1989/1990, 2013/2014 a 2015/2016 e 2016/2017 com exceção da estação Teodoro de Oliveira, no Rio Dois Rios, se mostraram de normal a extremamente seco.

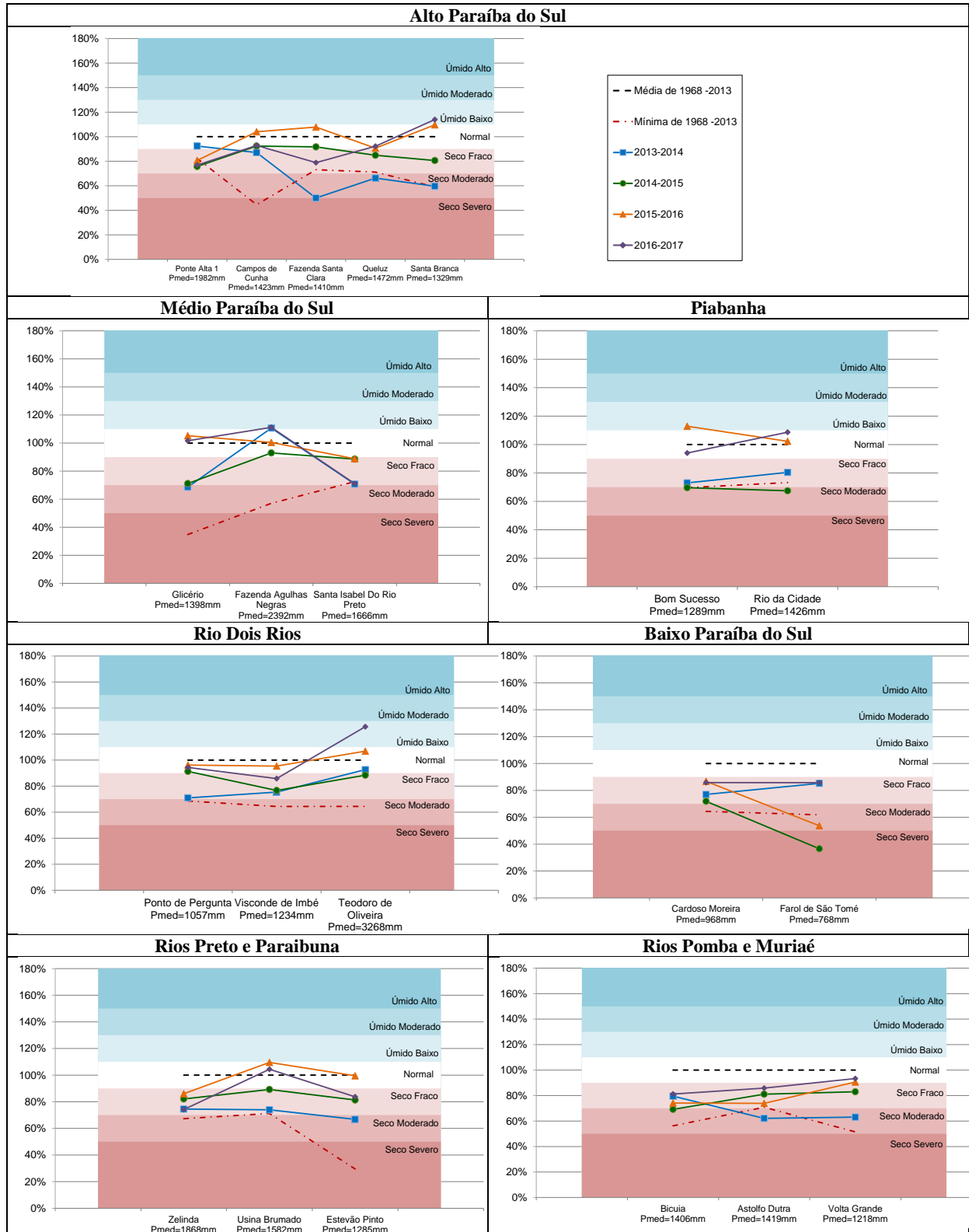
Destaca-se, para cada uma das sete regiões, que a bacia do rio Paraíba do Sul foi dividida:

- Alto Paraíba do Sul: foram analisadas cinco estações cujas precipitações médias entre os anos de 1969 a 2013 variaram na ordem de 1329 a 1982 mm. Os resultados pelo índice de PN, mostraram que com exceção de uma estação, o ano de 2013/2014 foi o que apresentou os registros mais baixos de precipitação, chegando a 50% da média histórica na estação de Fazenda Santa Clara. Os anos de 2013/2014 a 2016/2017 tiveram registros variando entre normal e seco fraco. O SPI 12 confirmou esses resultados mostrando registros extremamente secos no ano de 2013/2014 e variações entre normal e severamente seco nos anos seguintes.
- Médio Paraíba do Sul: As precipitações desta região se mostraram mais próximas a média. Os índices de PN indicaram uma situação normal a seco fraco. O SPI apontou o ano de 2013/2014 e 2016/2017 como severamente seco apenas para a estação Santa Isabel, os demais registros destes anos variaram de normal a moderadamente severo. As chuvas médias nesta região variaram de 1.398 a 2.392mm.



- Piabanha: Os totais precipitados variaram de 70 a 110% da média. O SPI variou de normal, chegando a um registro de extremamente seco na estação Rio da Cidade no ano de 2014/2015.
- Rio Dois Rios: Nesta região as chuvas se mostraram próximas da média nestes anos, com PN variando de úmido baixo a seco fraco nas três estações analisadas. A estação de Teodoro de Oliveira possui precipitação média de 3.268mm enquanto as outras duas da ordem de 1.057 e 1.234mm. O SPI variou do normal ao severamente seco, com exceção do registro do ano de 2016/2017 na estação de Teodoro de Oliveira que foi caracterizado como moderadamente úmido.
- Baixo Paraíba do Sul: Para as duas estações analisadas, as precipitações foram abaixo da média, variando o PN de seco fraco ao severo. Pelo SPI apresentaram índices de normal a extremamente seco. As precipitações médias nesta região são da ordem de 768 e 968 mm.
- Rios Preto e Paraibuna: as três estações analisadas indicaram registros próximos da média, com PN entre normal e seco fraco na maior parte dos registros. As precipitações médias variam entre 1.285 e 1.867 mm. O SPI indicou anos normais a severamente seco.
- Rios Pomba e Muriaé: para as três estações que caracterizaram esta região foram observadas precipitações abaixo da média. As médias nesta região são da ordem de 1.400mm. O PN indicou registros de anos normais a secos moderados. Já o SPI indicou anos normais a extremamente secos.

Figura 3: Resultados do Índice de Porcentagem Normal dos Anos Hidrológicos



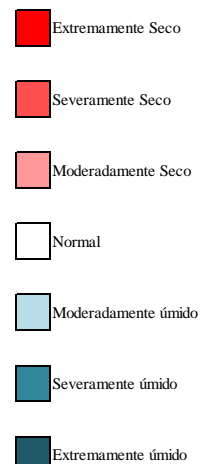
Uma outra análise foi feita para o período úmido e seco dos anos mais recentes (2013/2014 a 2016/2017). Utilizou-se o índice SPI -6 do mês de referência setembro para caracterizar o período seco e do mês de março para caracterizar o período úmido.

Durante o período seco, com raras exceções, houve o predomínio de períodos normais, com ocorrências de moderadamente seco até extremamente seco. Observa-se que o ano de 2013/2014 apresentou-se moderadamente seco em todas as estações das bacias afluentes aos rios Pomba e Muriaé. A estação de Farol de São Tomé apresentou o caso mais extremo ao longo destes anos em análise. Esses resultados corroboram a situação severa de estiagem vivenciada na maioria dos municípios do norte-noroeste do Estado do Rio de Janeiro que chegaram a publicar decretos de estado de emergência ao longo destes últimos anos.

Chama atenção os resultados para o período úmido destes anos. O período úmido 2013/2014 se mostrou abaixo da média em quase todas as estações, com a maior parte dos resultados nas faixas de moderadamente a extremamente seco. O mesmo período do ano seguinte também se mostrou seco, com registros piores na região do Piabanha e Baixo Paraíba do Sul. Já os períodos úmidos dos anos de 2015/2016 e 2016/2017, se mostraram mais próximos do normal com algumas poucas exceções.

Figura 5: Resultados do Índice SPI6 para o período seco e período úmido

| | | PERÍODO SECO SPI 6 SETEMBRO (ABRIL A SETEMBRO) | | | | PERÍODO ÚMIDO SPI 6 MARÇO (OUTUBRO A MARÇO) | | | | |
|----------------|--|--|------|------|------|---|------|------|------|------|
| | | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | |
| Rio de Janeiro | Médio Paraíba do Sul | Glicério | -0,9 | -0,2 | -0,6 | -0,4 | -1,0 | -1,1 | 0,6 | 0,4 |
| | | Fazenda Agulhas Negras | 1,4 | 0,0 | -1,3 | -0,6 | 0,2 | -0,5 | 0,6 | 0,9 |
| | | Santa Isabel | -0,5 | -0,2 | -1,2 | -0,5 | -1,7 | -0,5 | 0,0 | -1,7 |
| | Piabanha | Bom Sucesso | -0,7 | -0,2 | 0,4 | | -1,5 | -2,0 | 0,8 | -0,4 |
| | | Rio da Cidade | -0,6 | 0,0 | -0,6 | | -1,0 | -2,5 | 0,6 | 0,8 |
| | Rio Dois Rios | Ponto de Pergunta | -1,6 | 0,5 | 0,8 | 0,0 | -1,2 | -0,6 | -0,4 | -0,2 |
| | | Teodoro de Oliveira | 1,6 | 0,2 | -0,4 | 0,9 | -1,4 | -0,9 | 0,7 | 1,4 |
| | | Visconde de Imbé | -1,1 | 0,4 | 0,1 | 0,3 | -1,1 | -1,6 | -0,1 | -0,8 |
| | Baixo Paraíba do Sul | Cardoso Moreira | -1,0 | 0,4 | 0,5 | -0,2 | -0,7 | -1,5 | -0,6 | -0,4 |
| | | Farol de São Tomé | 0,4 | -1,1 | -1,9 | 0,0 | -0,8 | -3,5 | -1,3 | -0,4 |
| São Paulo | Alto Paraíba do Sul | Ponte Alta 1 | 0,4 | -0,1 | -1,1 | -1,0 | -0,6 | -1,7 | -0,7 | -1,0 |
| | | Campos de Cunha | -0,8 | -0,5 | -0,2 | -0,7 | -0,8 | -0,5 | -0,2 | -0,7 |
| | | Queluz | -0,4 | 0,1 | -1,2 | 0,3 | -2,1 | -0,9 | 0,2 | -0,5 |
| | | Fazenda Santa Clara | -1,0 | 0,2 | -0,6 | -0,5 | -3,1 | -0,3 | 1,1 | -0,9 |
| | | Santa Branca | -0,8 | -0,1 | 0,4 | -0,2 | -1,9 | -0,9 | 0,5 | 1,0 |
| Minas Gerais | Bacia do rio Preto e Paraíbauna | Usina Brumado | -0,4 | 0,7 | -0,7 | -0,4 | -1,5 | -0,9 | 1,0 | 0,6 |
| | | Estevão Pinto | -0,4 | 0,1 | -0,3 | -0,9 | -0,8 | -0,6 | 0,2 | -0,2 |
| | | Zelinda | 0,2 | 0,6 | -1,7 | -0,8 | -1,8 | -1,4 | 0,0 | -1,3 |
| | Bacias Afluentes dos rios Pomba e Muriaé | Volta Grande | -1,1 | 0,2 | -0,5 | -0,7 | -1,8 | -0,9 | -0,1 | 0,1 |
| | | Astolfo Dutra | -1,4 | 0,1 | -0,8 | 0,1 | -1,8 | -0,9 | -1,1 | -0,6 |
| | | Bicuíta | -1,3 | 1,1 | -0,4 | -0,4 | -0,5 | -2,0 | -1,1 | -0,6 |





CONCLUSÕES

A região sudeste do Brasil vivenciou em 2014 e 2015 a pior seca já registrada, o que causou uma crise hídrica com diversos impactos econômicos e sociais.

Na porção paulista da bacia do Paraíba do Sul foram registradas as menores vazões para o rio Paraíba do Sul em mais de 80 anos de monitoramento, por exemplo. Já na porção fluminense foi identificado para os anos hidrológicos de 2013/2014 e 2014/2015 valores abaixo da média, registrando, em algumas estações, os piores valores do histórico.

Os resultados obtidos neste trabalho pelos índices Precipitação Normal e Precipitação Padronizada corroboraram períodos de secas severas em todas as regiões da bacia do rio Paraíba do Sul com os baixos índices pluviométricos entre os anos de 2014 e 2017.

Este trabalho evidencia a importância do monitoramento hidrológico onde, durante esse período seco, gerou informações imprescindíveis para o enfrentamento da estiagem severa. Uma rede de monitoramento hidrometeorológico, que produza dados contínuos e confiáveis é fundamental para a redução de perdas e danos provocados por eventos hidrológicos extremos (estiagem e inundações) bem como para ao planejamento adequado visando o aumento da segurança hídrica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARRA, T. S.; *et al.* (2002). *Caracterização climatológica da severidade de secas do Estado do Ceará – Brasil*. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 6, n. 2, p. 266-272.
- COSTA, L.F.; *et al.* (2015). *Enfrentando A Estiagem Da Bacia Do Rio Paraíba Do Sul*. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 21: anais. Brasília: ABRH, 2015.
- FERNANDES, *et al.* (2009). *Índices para a quantificação da seca*. Embrapa Arroz e Feijão. Santo Antonio de Goiás, GO - Brasil.
- GOIS, G. (2005). *Caracterização da seca e seus efeitos na produção da cultura do milho para as diferentes regiões do estado de Minas Gerais*. 81 p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG - Brasil.
- EDWARDS, D.; MCKEE, T. (1997). *Characteristics of 20th century drought in the United States at multiple time scales*. Climatology Report No. 97-2. Colorado, CO.
- MCKEE, T. *et al.* (1993). *The relationship of drought frequency and duration to time scales*. Colorado, CO.
- MOLINA, P.A; LIMA, L.C.T.M. (1999). *Estudo de Secas agrícolas no Nordeste Brasileiro*. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 13: anais. Belo Horizonte: ABRH, 1999
- NDMC. (2006). *Understanding and defining Drought, National Drought Mitigation Centre*, University of Nebraska-Lincoln (<http://drought.unl.edu/index.htm>).