

## IV-122 - AUMENTO DA SEGURANÇA HÍDRICA PARA OS SISTEMAS DE ABATECIMENTO PÚBLICO DE ÁGUA NA RMSP NO PÓS CRISE HÍDRICA

### **Silene Cristina Baptistelli<sup>(1)</sup>**

Engenheira Civil pela Faculdade de Engenharia da Fundação Armando Alvares Penteado – FAAP. Mestre e Doutora em Engenharia Hidráulica pela Escola Politécnica de São Paulo - POLI/USP. Colaboradora na Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo - SABESP. Professora do Centro Universitário SENAC no curso de Engenharia Ambiental e Sanitária.

### **Gladys Fernandes Janeiro<sup>(2)</sup>**

Engenheira Civil pela Escola Politécnica de São Paulo - POLI/USP. Mestre em Engenharia Hidráulica pela Escola Politécnica de São Paulo - POLI/USP. Colaboradora na Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo - SABESP.

### **Fabiana Rorato L. Prado<sup>(3)</sup>**

Engenheira Civil pela Escola de Engenharia de São Carlos da USP. Mestre em Engenharia Hidráulica pela Escola Politécnica da USP, Engenheira na Companhia de Saneamento do Estado de São Paulo - SABESP.

### **Maria Regina Ferraz Campos<sup>(4)</sup>**

Engenheira pela Escola de Engenharia de Lins - EEL. Mestre em Engenharia pela Escola Politécnica da USP, Engenheira na Companhia de Saneamento do Estado de São Paulo - SABESP.

### **Dante Ragazzi Pauli<sup>(5)</sup>**

Engenheiro Civil pela Universidade Mackenzie. Especialista em Saúde Pública pela Universidade de São Paulo. Mestre em Saneamento Ambiental pela Universidade Mackenzie. Professor da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo e da Faculdade de Engenharia do Mackenzie. Superintendente de Planejamento Integrado na Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo – SABESP.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua Costa Carvalho, 300 – Pinheiros – São Paulo – SP – CEP: 05429-900 – Brasil – Tel: +55 (11) 3388-8601 - e-mail: [sbaptistelli@sabesp.com.br](mailto:sbaptistelli@sabesp.com.br)

## RESUMO

Este trabalho tem o objetivo de apresentar os resultados dos estudos de disponibilidade hídrica e de mudanças climáticas, elaborados no âmbito do trabalho de Atualização e Revisão do Plano Diretor de Abastecimento de Água da Região Metropolitana de São Paulo – RMSP. Estes estudos foram efetuados em meio à crise hídrica e apresentam uma mudança de paradigma no que tange à garantia de disponibilidade hídrica, e consequente aumento da segurança hídrica. Trata-se de uma pesquisa teórica documental onde são apresentados e discutidos estudos que utilizaram ferramentas de modelagem matemática. No estudo de disponibilidade hídrica foram realizadas simulações matemáticas com o Modelo AcquaNet 2013, desenvolvido pelo LabSid – Laboratório de Sistemas de Suporte a Decisões da Escola Politécnica da USP. O estudo de mudanças climáticas, desenvolvido por pesquisadores do CCST/INPE, teve o objetivo de avaliar os possíveis impactos das mudanças climáticas nos regimes de precipitação e vazão, e principalmente estimar estes impactos nas vazões futuras nos corpos hídricos de interesse para o abastecimento de água da RMSP, utilizando projeções dos cenários de mudanças climáticas. O modelo climático global utilizado foi o HadGEM2-ES desenvolvido pelo Met Office Hadley Centre do Reino Unido. O modelo climático regional utilizado foi o Eta-INPE, que é um modelo atmosférico regional completo usado pelo CPTEC/INPE, desde 1997, para as previsões do tempo e clima operacionais. O uso de garantia de disponibilidade hídrica de 95%, que representa uma vazão com permanência de 95%, era o valor comumente utilizado nos estudos de disponibilidade hídrica, mas em virtude da crise hídrica os estudos foram ampliados para a verificação de disponibilidades hídricas com garantias de 95% a 100%. Esta necessidade de aumento da segurança hídrica, com aumento da garantia da disponibilidade hídrica foi corroborada com os resultados dos estudos de mudanças climáticas. Estes estudos concluíram que é necessária a elevação da garantia de disponibilidade hídrica para o patamar mínimo de 98% em toda RMSP, visando o aumento da segurança hídrica. Em vista dos diversos episódios de eventos extremos que vem ocorrendo no Brasil e no mundo, é imperativo que os planejadores e tomadores de decisão considerem como assunto estratégico os impactos das mudanças climáticas sobre os recursos hídricos.

**PALAVRAS-CHAVE:** Segurança hídrica, abastecimento público, crise hídrica, mudanças climáticas.

## INTRODUÇÃO

Um Plano Diretor de Abastecimento de Água é o principal instrumento de referência de planejamento e gestão da água de abastecimento e tem como objetivo compor diretrizes de planejamento para o aproveitamento dos Recursos Hídricos sob a forma de mananciais, bem como para os sistemas de tratamento, adução e reservação. Para tanto, os estudos que compõem o Plano Diretor de Abastecimento de Água devem identificar a necessidade de novos aportes de água e a necessidade de ampliação de estações de tratamento de água existentes, com avaliação de suas unidades e processos de tratamento e, se for o caso, a implantação de novos sistemas produtores. Assim, os estudos de disponibilidade hídrica dos mananciais atualmente explorados e dos mananciais que se configuram em alternativas de uso futuro para abastecimento de água são importantíssimos na elaboração de Planos Diretores de Abastecimento de Água.

Neste contexto, no ano de 2014, durante a atualização e revisão do Plano Diretor de Abastecimento de Água da RMSP, deparou-se com um evento extremo, uma crise hídrica sem precedentes. Esta situação desencadeou uma série de novos estudos no intuito de avaliar as ações emergências que estavam sendo apresentadas e implementadas nos mananciais que atendem a população da RMSP. A necessidade de aprofundar os estudos de disponibilidades hídricas e de avaliar os possíveis impactos das mudanças climáticas nos regimes de precipitação e vazão na RMSP, nortearam os estudos hidrológicos na Revisão e Atualização do Plano Diretor de Abastecimento de Água da RMSP.

No tocante às mudanças climáticas, anteriormente à Revolução Industrial as alterações climáticas podem ser explicadas por causas naturais, tais como alterações na energia solar, erupções vulcânicas, e as mudanças naturais nas concentrações dos gases de efeito estufa. No entanto, os recentes eventos climáticos podem não ser totalmente explicados somente pela ocorrência de causas naturais. Através de pesquisas e simulações avançadas, grande parte da comunidade científica tem associado às mudanças climáticas ao aumento da temperatura média global, devido ao intensivo uso de combustíveis fósseis, intensificando o efeito estufa natural.

De acordo com o IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*) uma das consequências das mudanças climáticas é a intensificação dos extremos de precipitação (eventos de cheias e secas). Extremos climáticos podem gerar significativos impactos sobre o regime hidrológico de uma região. Estudar a vulnerabilidade e os impactos das mudanças climáticas sobre os recursos hídricos, tendo como base a unidade da bacia hidrográfica, é certamente um assunto estratégico, que permite planejar potenciais medidas de adaptação em associação às ações existentes de gerenciamento dos recursos hídricos.

Assim, torna-se plenamente justificável a elaboração de estudo para avaliar os impactos das mudanças climáticas nos regimes de precipitação e vazão em sub-bacias das principais Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI) do estado de São Paulo. Entende-se que os efeitos das mudanças climáticas, como as alterações de temperatura e precipitação, se fará sentir diretamente na disponibilidade hídrica dos corpos de água.

Tanto os estudos de disponibilidade hídrica, quanto os de mudanças climáticas, foram efetuados em meio à crise hídrica e apontaram para uma mudança de paradigma no que tange à garantia de disponibilidade hídrica, e conseqüente ao aumento da segurança hídrica.

## OBJETIVOS

O principal objetivo deste trabalho é apresentar os resultados dos estudos efetuados sobre disponibilidade hídrica e mudanças climáticas, no âmbito do trabalho de Atualização e Revisão do Plano Diretor de Abastecimento de Água RMSP, e suas conclusões para as definições das ações para o aumento da segurança hídrica para a região.

## METODOLOGIA UTILIZADA

Trata-se de uma pesquisa teórica documental onde são apresentados e discutidos trabalhos nos quais foram utilizadas ferramentas de modelagem matemática para os estudos de disponibilidade hídrica e para as mudanças climáticas.

No estudo de disponibilidade hídrica foram realizadas simulações matemáticas com o Modelo AcquaNet 2013, desenvolvido pelo LabSid – Laboratório de Sistemas de Suporte a Decisões da Escola Politécnica da USP. Através da representação do sistema real por meio da topologia em rede de fluxo, o LabSid AcquaNet simula mensalmente a transferência de água através dos links, respeitando uma sequência de prioridades. O programa LabSid AcquaNet que foi originalmente desenvolvido por John W. Labadie, com a denominação de MODSIM, para a resolução de problemas de alocação de águas em bacias complexas, utilizando um algoritmo de balanço de massa para simulação e o algoritmo Out-of-Kilter para otimização (ALBANO, 2004).

O estudo da disponibilidade hídrica dos mananciais foi baseado em geração/atualização de séries mensais de vazões naturais com o período de cobertura de outubro de 1930 a setembro 2015, ou seja, já considerando o período de escassez hídrica na série histórica.

O estudo de mudanças climáticas, desenvolvido por pesquisadores do Centro de Ciência do Sistema Terrestre do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - CCST/INPE teve o objetivo de avaliar os possíveis impactos das mudanças climáticas nos regimes de precipitação e vazão, e principalmente estimar estes impactos nas vazões futuras nos corpos hídricos de interesse para o abastecimento de água da RMSP, utilizando projeções dos cenários de mudanças climáticas. A análise do impacto das mudanças climáticas se deu a partir dos cenários de emissões RCP 4.5 (cenário mediano que assume algumas ações para conter as emissões) e RCP 8.5 (cenário catastrófico que considera grandes concentrações atmosféricas de CO<sub>2</sub>), até o ano de 2100. O modelo climático global utilizado foi o HadGEM2-ES desenvolvido pelo *Met Office Hadley Centre* do Reino Unido. O modelo climático regional utilizado foi o Eta-INPE, que é um modelo atmosférico regional completo usado pelo Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos - CPTEC/INPE, desde 1997, para as previsões do tempo e clima operacionais. O modelo foi adaptado a fim de ser capaz de gerar cenários de mudanças climáticas e foi validado como tal.

O INPE tem avaliado os diferentes cenários de mudança do clima baseados nos resultados do Quarto e Quinto Relatórios de Avaliação do IPCC e aplicado métodos de *downscaling* para o Brasil, nos quais são utilizadas projeções de mudanças climáticas provenientes de modelos climáticos globais para obtenção de projeções climáticas mais detalhadas, com uma melhor resolução espacial. Essas projeções são passíveis de uso em estudos dos impactos da mudança do clima em diversos setores socioeconômicos (agrícola, energético, saúde, recursos hídricos etc.). Para estimar os impactos das mudanças climáticas nas vazões foi utilizado o conceito de elasticidade climática da descarga líquida, ou seja, o modelo conceitual da elasticidade da vazão. A elasticidade hidrológica ou sensibilidade de vazão é definida como a razão entre a mudança proporcional da descarga líquida (vazão) e a mudança proporcional na precipitação (variável climática).

Estes estudos se desenvolveram em plena crise hídrica, e a análise dos resultados fez com que fosse imprescindível a ampliação dos estudos com novas hipóteses e considerações.

## ÁREA DE ESTUDO

Para entender os motivos pelos quais as mudanças climáticas e a preocupação com o aumento da segurança hídrica começaram a ser consideradas no planejamento das ações e investimentos em recursos hídricos, focados ao abastecimento público, é necessário que se conheça, em linhas gerais, o sistema de abastecimento de água da RMSP e o retrato do evento de extrema escassez hídrica ocorrido em 2014-2015.

A RMSP abrange uma área de 7.944 km<sup>2</sup>, subdividida em 39 municípios, com uma população total estimada em 19,9 milhões de habitantes para 2010. Ela representa cerca de 10,4% da população do País e 48% do Estado de São Paulo, distribuída em apenas 2,4% da área do estado. A produção média de água no ano de 2013 foi de 69 m<sup>3</sup>/s. Destaca-se a importância fundamental do Sistema Cantareira no abastecimento da RMSP, pois, em condições normais de operação, ele é responsável por 47% da água consumida nos municípios abastecidos por meio do Sistema Integrado Metropolitano.

O Sistema Integrado Metropolitano - SIM é constituído atualmente por nove sistemas produtores de água tratada, interligados por um robusto sistema de adução de água tratada, o Sistema Adutor Metropolitano – SAM. Esses sistemas são operados pela Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo – SABESP. A produção média total dos nove sistemas produtores em operação no ano de 2013 foi da ordem de 69 m<sup>3</sup>/s. A Tabela 1 apresenta as vazões de disponibilidade hídrica e capacidades produtivas, com as características atualizadas do sistema SIM – Sabesp.

**Tabela 1: Sistema Integrado Metropolitano – SIM - Disponibilidades Hídricas e Capacidades Produtivas – Características Atualizadas - SABESP.**

| <b>SISTEMA PRODUTOR</b> | <b>DISPONIBILIDADE HÍDRICA – 2015<sup>(1)</sup><br/>(m<sup>3</sup>/s)</b> | <b>CAPACIDADE NOMINAL<br/>(m<sup>3</sup>/s)</b> | <b>Observações</b>  |
|-------------------------|---|---|---|
| Cantareira              | 31,3  | 33,0  | Disponibilidade Hídrica de acordo com a Outorga de 2004, considerando a represa Paiva Castro.   |
| Guarapiranga            | 14,3 <sup>(1)</sup> / 16,7 <sup>(2)</sup>                                 | 16,0  | ETA ampliada de 14 para 16 m <sup>3</sup> /s em 2014-2015 – 2 módulos de ultrafiltração   |
| Alto Tietê              | 15,0  | 15,0  | Mananciais e Sistema Produtor ampliados de 10 para 15 m <sup>3</sup> /s (PPP)   |
| Rio Grande              | 5,5   | 5,5   | ETA ampliada de 4,5 para 5,5 m <sup>3</sup> /s: 0,5 m <sup>3</sup> /s processo convencional e 0,5 m <sup>3</sup> /s com módulo de ultrafiltração. |
| Rio Claro               | 4,0   | 4,0   | -   |
| Alto Cotia              | 1,1   | 1,2   | -   |
| Baixo Cotia             | 0,8   | 0,9   | -   |
| Ribeirão da Estiva      | 0,1   | 0,1   | -   |
| Capivari-Embu Guaçu     | (3)   | 0,13  | Implantado em 2013-2014 na região de Embu Guaçu, com captação em afluente da represa Guarapiranga; integrado ao SIM, via SAM.                     |
| <b>Total</b>            | <b>72,1<sup>(1)</sup> / 74,5<sup>(2)</sup></b>                            | <b>75,83</b>                                    |   |

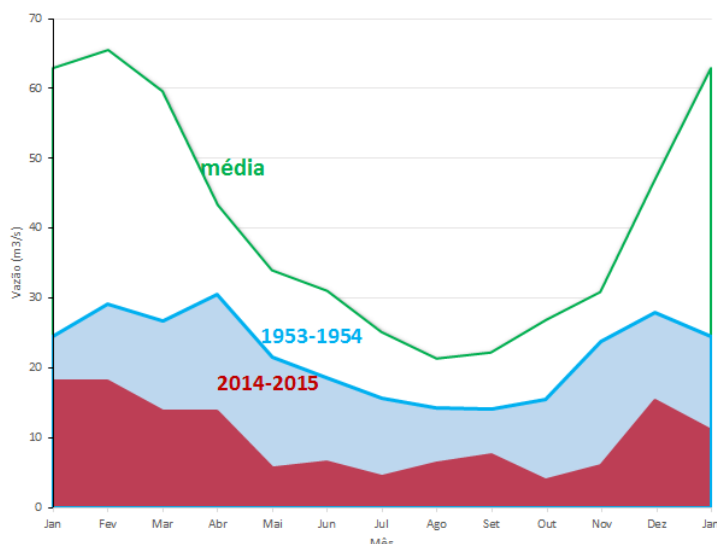
(1) Não considera as condições do período da Crise Hídrica, mas a garantia de 95% nas condições do período pré-crise (base 2013);

(2) Considerando a autorização para ampliação da transferência do Taquacetuba (4,6 m<sup>3</sup>/s), em caso de necessidade de priorização do abastecimento na exploração da represa Billings;

(3) Disponibilizada Hídrica no contexto da represa Guarapiranga

#### • Crise hídrica 2014/2015

A estiagem de 2014 foi um evento excepcional, sem precedentes na longa série histórica de observações. A vazão média afluyente aos reservatórios do Sistema Cantareira no ano de 2014 foi a menor da série de 85 anos, como mostra a Figura 1 (SABESP, 2015). As vazões afluentes ao Cantareira em 2014-2015 foram bastante inferiores à anterior mínima histórica de 1953-54, em todos os 12 meses considerados. No mês de Julho (mês típico de seca), a média histórica é de 28,8 m<sup>3</sup>/s, em 1954 foi de 17,6 m<sup>3</sup>/s, e em 2014 de apenas 6,4 m<sup>3</sup>/s (22% da média histórica). Esta situação levou o manancial ao máximo de seu estresse hídrico, incorrendo num aumento do risco sistêmico para o abastecimento de água e demais usos na RMSP.



**Figura 1: Vazões anuais afluentes ao Sistema Cantareira (m<sup>3</sup>/s) – 1930 a 2014.**

Neste período, pode-se observar que mesmo mantendo as capacidades de produção, sob o aspecto de instalações físicas, dois dos principais sistemas produtores de água tratada que abastecem a região, os Sistemas Produtores Cantareira e Alto Tietê, foram fortemente impactados, reduzindo de forma drástica, suas capacidades de disponibilizar água tratada à população.

Para enfrentar a crise 2014-2015, o Governo do Estado e a Sabesp adotaram uma série de medidas que permitiram a redução da dependência do Sistema Cantareira (principal manancial afetado pela estiagem) e o consequente melhor aproveitamento da reserva disponível nos mananciais dos demais sistemas produtores de água da RMSP. Tais medidas, como a implementação de bônus, ampliação da capacidade de produção de água, interligação de sistemas produtores por meio de adutoras do Sistema Adutor Metropolitano - SAM, entre outras, permitiram reduzir a menos da metade a vazão média mensal retirada do Cantareira.

Com vistas a assegurar o pleno aproveitamento da sua capacidade instalada para abastecimento da RMSP e aumentar a garantia da segurança hídrica do Sistema Cantareira, em razão período hidrológico 2014/2015, está em construção a interligação das represas Jaguari (bacia do Paraíba do Sul) e Atibainha (sistema Cantareira). Essa obra possibilitará a transferência de 5,13 m<sup>3</sup>/s para o Sistema Cantareira.

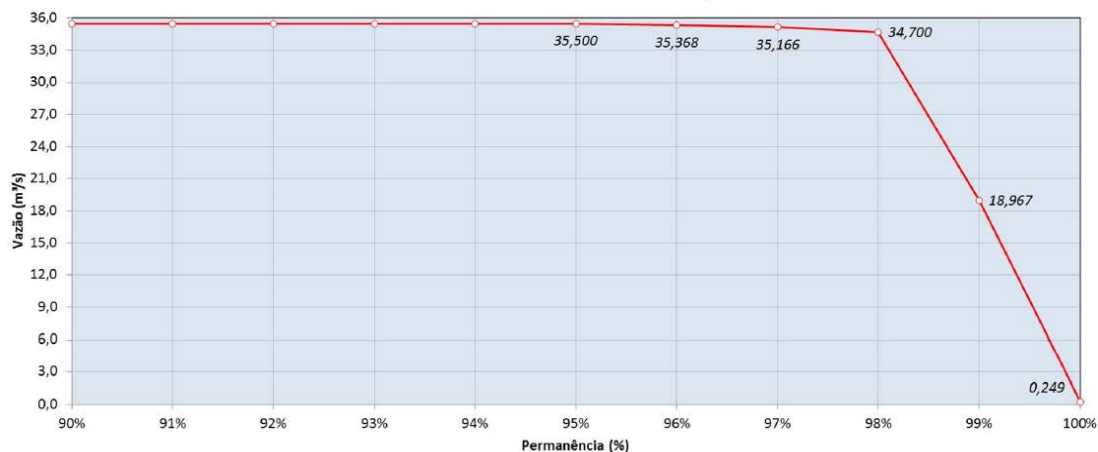
## RESULTADOS DO ESTUDO DE DISPONIBILIDADE HÍDRICA

A avaliação das disponibilidades hídricas dos sistemas produtores da RMSP foi conduzida, em um primeiro momento, com base na configuração operacional dos sistemas produtores em 2013, “cenário atual”. Este foi o ano escolhido para que a avaliação de diagnóstico não fosse contaminada pela crise hídrica que estava em curso (2014-2015). Para o “carregamento” do modelo hidráulico, as demandas setoriais consideradas (abastecimento e demais usos dos recursos hídricos) foram as de 2013 (com base nas outorgas existentes - DAEE), e as disponibilidades hídricas verificadas/estabelecidas para a garantia de 95%. Na sequência, face à grave crise hídrica deflagrada em 2014, os estudos foram ampliados, passando-se a considerar os novos aportes de água bruta anunciados para o curtíssimo e curto prazo (2015 a 2017).

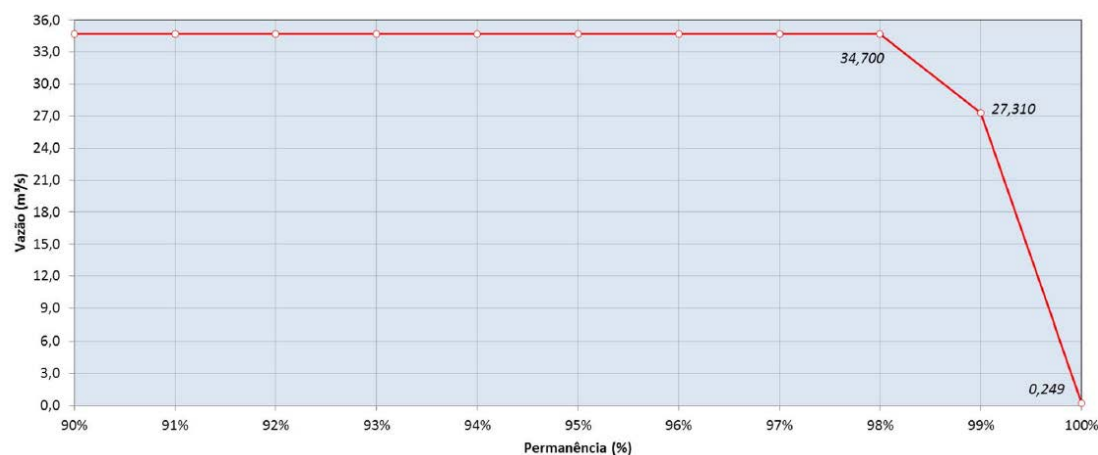
Entenda-se que a garantia de 95% representa dizer que a disponibilidade hídrica foi considerada como sendo a vazão com permanência de 95%, e este é o valor comumente utilizado nos estudos de disponibilidade hídrica, até então. Em virtude da crise hídrica que estava em curso, quando está garantia de 95% supostamente foi superada, os estudos foram ampliados para a verificação de disponibilidades hídricas com garantias de 95% a 100%.

Esta necessidade de aumento da segurança hídrica, com aumento da garantia da disponibilidade hídrica foi corroborada com os resultados dos estudos de mudanças climáticas, elaborado em paralelo aos estudos de disponibilidade hídrica.

A seguir são apresentados os resultados de disponibilidade hídrica, para o Sistema Cantareira, no cenário que inclui a interligação Jaguari–Atibainha, variando-se as garantias de 95 a 100%. A Figura 2 mostra a curva de permanência das vazões fornecidas à ETA Guaraú com 95% de garantia, e a Figura 3 mostra a curva de permanência das vazões fornecidas à ETA Guaraú com 98% de garantia.



**Figura 2 - Curva de permanência das vazões fornecidas à ETA Guaraú com 95% de garantia**



**Figura 3 - Curva de permanência das vazões fornecidas à ETA Guaraú com 98% de garantia**

Analisando os resultados é possível observar que, com a interligação do reservatório Jaguari-bacia do rio Paraíba do Sul com o reservatório Atibainha-Sistema Cantareira, a ETA Guaraú consegue fornecer 35,50 m³/s com 95% de garantia e 34,70 m³/s com 98% de garantia. Na Tabela 2, a seguir, são apresentadas as vazões produzidas pela ETA Guaraú para as garantias entre 95% e 100%.

**Tabela 2 - Resultados obtidos da modelagem LabSid - Sistema Cantareira**

| Sistema Produtor |                                       | Vazões disponíveis (m³/s) em função das garantias |        |        |        |        |        |
|------------------|---------------------------------------|---|--------|--------|--------|--------|--------|
|                  |                                       | 95%   | 96%    | 97%    | 98%    | 99%    | 100%   |
| Cantareira       | 2013 + Interligação Jaguari-Atibainha | 35,500  | 35,330 | 35,200 | 34,700 | 32,110 | 26,350 |

## RESULTADOS DO ESTUDO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS

Durante o desenvolvimento dos estudos de disponibilidade hídrica foi conduzido, em paralelo, um estudo sobre mudanças climáticas que teve por objetivo estimar os impactos relacionados às mudanças climáticas, nas vazões futuras nos complexos hídricos de interesse para o abastecimento de água da RMSP, utilizando projeções dos cenários de mudanças climáticas. Para esta avaliação foram utilizados modelos climáticos,



global e regional, além de modelos hidrológicos de simulação. O estudo desenvolvido por pesquisadores do CCST/INPE e a análise do impacto das mudanças climáticas se deu a partir dos cenários de emissões RCP 4.5 (cenário mediano que assume algumas ações para conter as emissões) e RCP 8.5 (cenário catastrófico que considera grandes concentrações atmosféricas de dióxido de carbono, CO<sub>2</sub>), até o ano de 2100.

A área de interesse do trabalho abrangeu 16 áreas de estudos (sub-bacias) distribuídas em sete das principais Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI) do estado de São Paulo, como apresentado na Figura 4.

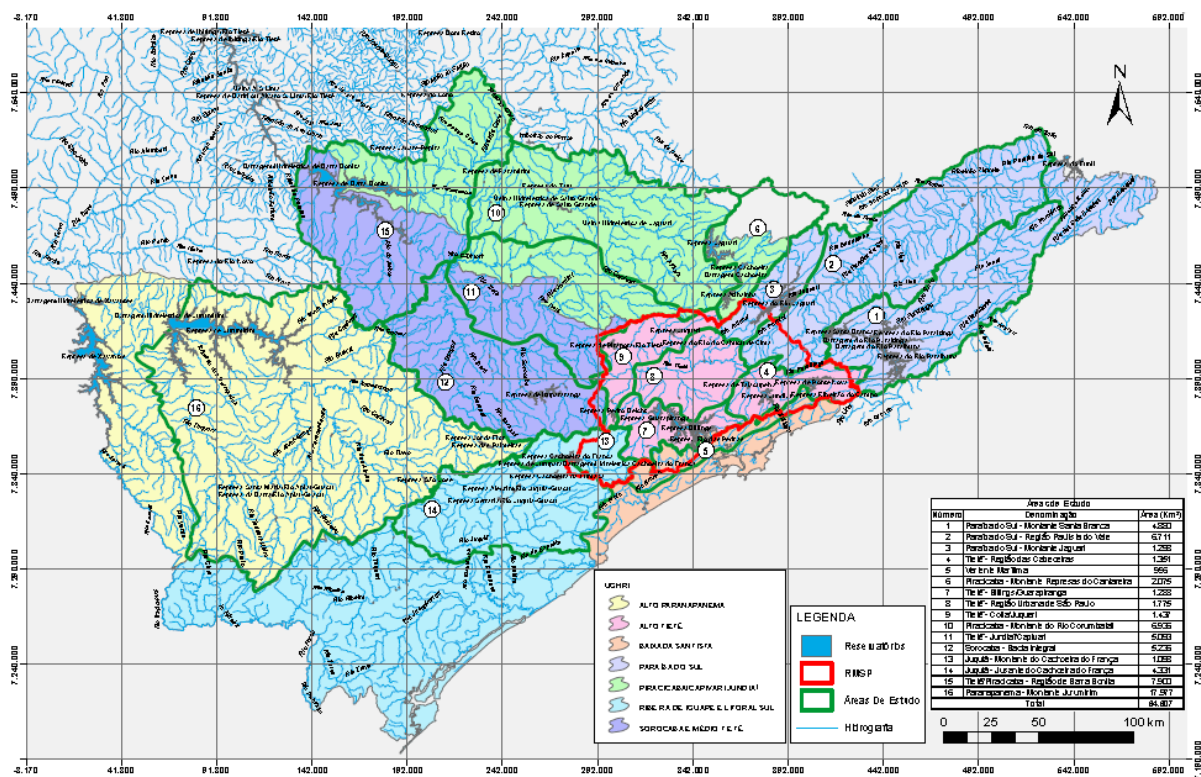


Figura 4 – Área de Estudo para as modelagens das mudanças climáticas

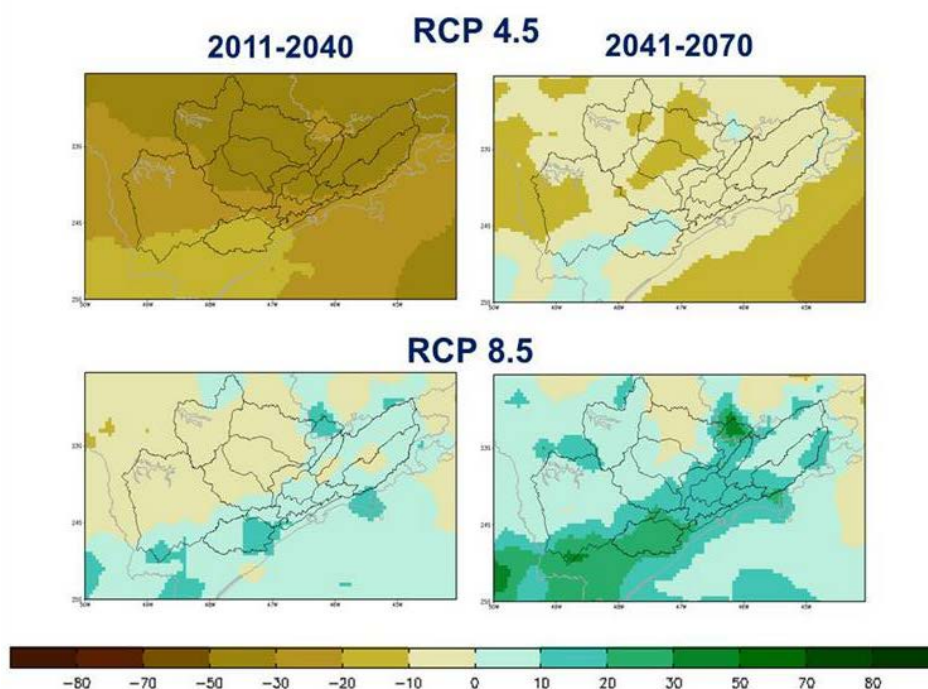
Os dados de precipitação foram obtidos da base de dados do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE e do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET. As informações sobre as estações fluviométricas das bacias foram disponibilizadas pelo LabSid, correspondente às vazões naturais em postos da base de dados do Operador Nacional do Sistema Elétrico – ONS. Ambos os dados são trabalhados em séries médias anuais de 1960 a 2012.

O modelo climático global utilizado foi o HadGEM2-ES desenvolvido pelo Met Office Hadley Centre do Reino Unido. O modelo climático regional utilizado foi o Eta-INPE, que é um modelo atmosférico regional completo usado pelo INPE/CPTEC, desde 1997, para as previsões do tempo e clima operacionais. O modelo foi adaptado a fim de ser capaz de gerar cenários de mudanças climáticas e foi validado como tal. O INPE tem avaliado os diferentes cenários de mudança do clima baseados nos resultados do Quarto e Quinto Relatórios de Avaliação do IPCC e aplicado métodos de *downscaling* para o Brasil, nos quais são utilizadas projeções de mudanças climáticas provenientes de modelos climáticos globais para obtenção de projeções climáticas mais detalhadas, com uma melhor resolução espacial. Essas projeções são passíveis de uso em estudos dos impactos da mudança do clima em diversos setores socioeconômicos (agrícola, energético, saúde, recursos hídricos etc.).

### • Resultados das projeções de modificações de precipitação e temperatura

Numa primeira etapa do estudo, a partir do uso do modelo climático regional Eta-INPE, o qual foi alimentado com os resultados do modelo climático global HadGEM2, foi possível projetar as modificações esperadas nas precipitações e temperaturas da área de estudo para dois trimestres do ano (chuvoso e seco) e na temperatura média anual, para cada um dos dois cenários, nos períodos futuros de 2011 a 2040 e 2041 a 2070. Destacam-se os seguintes resultados:

- Verão (jan., fev. e março): diminuição bem significativa da precipitação pluviométrica para os dois cenários (RCP4.5 e RCP8.5), com valores de até 30% em quase toda a área estudada.
- Inverno (junho, julho e agosto): para o cenário RCP4.5, período 2011-2040, a projeção é de diminuição entre 10 e 30% da precipitação média. Para o cenário RCP4.5, período 2041 a 2070 e cenário RCP8.5 para os dois períodos, projeta-se uma tendência de manutenção ou aumento da precipitação na área de estudo. No caso específico da Área 14 – Jusante da Cachoeira do França (UGRHI 11) é esperado um aumento de 20% nas precipitações no período de 2041 a 2070, no cenário RCP8.5 (Figura 5).
- Quanto à variável temperatura observa-se aumento de 2°C a 3°C, em ambos cenários de emissão para o período 2011-2040, e para o período 2041-2070, no cenário RCP 4.5. Para o cenário RCP 8.5 no período 2041-2070, as projeções do modelo mostram um aumento significativo da temperatura média anual chegando a valores acima dos 4°C.



**Figura 5 - Projeções do Eta-HadGEM2 ES para mudanças na PRECIPITAÇÃO (diminuição em porcentagens negativas e aumento em porcentagens positivas) %, cenários RCP 4.5 e 8.5, para junho-julho-agosto e períodos 2011-2040 e 2041-2070**

### • Classificação dos períodos chuvosos e histogramas de frequências projetadas

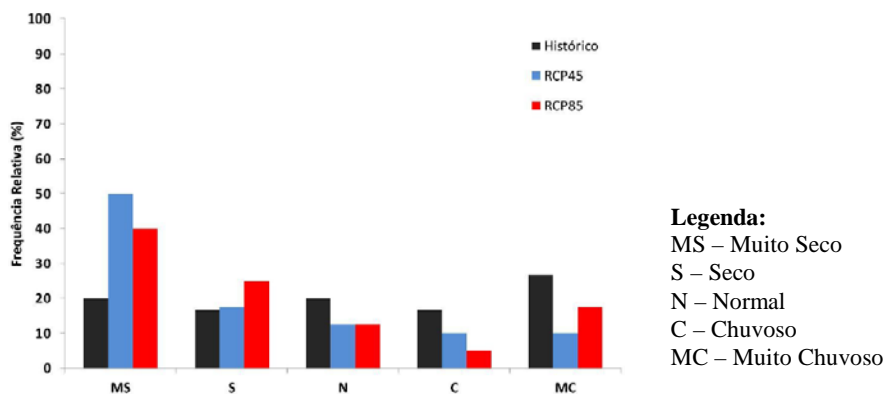
A partir das projeções das precipitações, os totais pluviométricos sazonais foram classificados pela técnica estatística do Quantis. Uma interpretação para o Quantil  $Q(p)$  é a seguinte: supondo a “probabilidade” ou “ordem quantílica”  $p$  expressa em percentuais; espera-se que em  $p\%$  dos anos a precipitação  $X$  não deve ultrapassar o valor desse Quantil  $Q(p)$ , em milímetros, enquanto para  $(100 - p)\%$  dos anos tal valor será excedido.



Após a classificação dos totais pluviométricos sazonais, foram elaborados histogramas da frequência relativa, em percentagem, para cada área. Destaca-se o seguinte resultado:

- Comparando o período histórico (1976 a 2005) com o período futuro (2011 a 2050) foi possível verificar um aumento significativo de números de anos Muito Secos e Secos, no futuro, com frequência em torno de 50%.

A Figura 6 ilustra o histograma das frequências relativas (%) para a Área 6 – Piracicaba – Montante Represas do Cantareira:



**Figura 6 - Frequência relativa (%) – Área 6 – Piracicaba – Montante Represas do Cantareira**

#### • Estimativa de impacto nas vazões

Para estimar os impactos das mudanças climáticas nas vazões foi utilizado o conceito de elasticidade climática da descarga líquida, ou seja, o modelo conceitual da elasticidade da vazão. A elasticidade hidrológica ou sensibilidade de vazão é definida como a razão entre a mudança proporcional da descarga líquida (vazão) e a mudança proporcional na precipitação (variável climática). Destacam-se os seguintes resultados:

- A sensibilidade das vazões às precipitações apresentou uma grande variação entre as diferentes regiões. A menor elasticidade foi registrada na Estação Barragem Pedras, na UGRHI 07 – Baixada Santista, enquanto que a máxima elasticidade ocorreu na Estação Fazenda Itapeva, na UGRHI 05 – Piracicaba/Jundiaí/Capivari (Figura 7).
- As maiores diminuições das vazões médias podem ser vistas nas UGRHIs Piracicaba/Jundiaí/Capivari (Área 6), Alto Tietê (Áreas 4, 7, 8 e 9). (Figura 8)

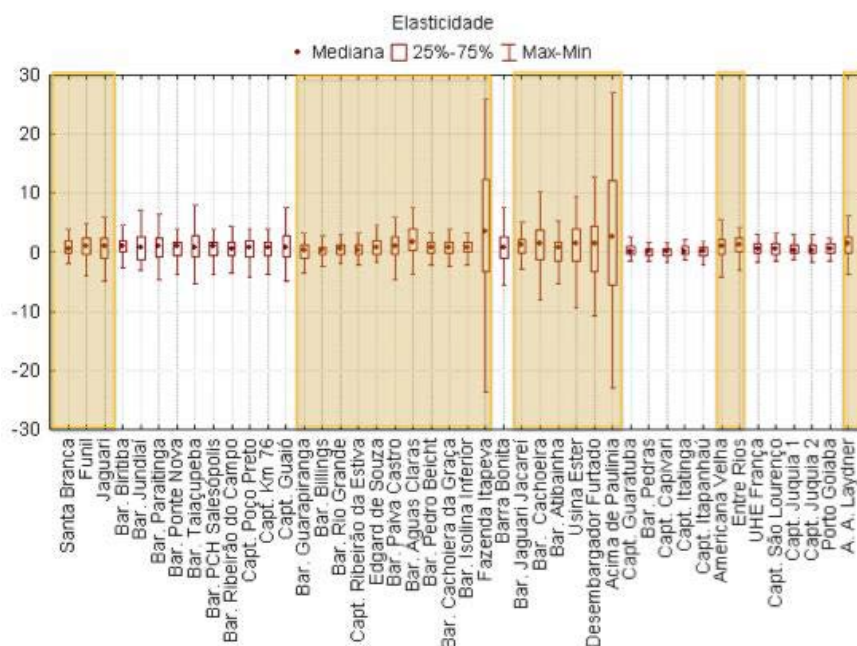


Figura 7 – Valores de Elasticidade das Vazões às Precipitações

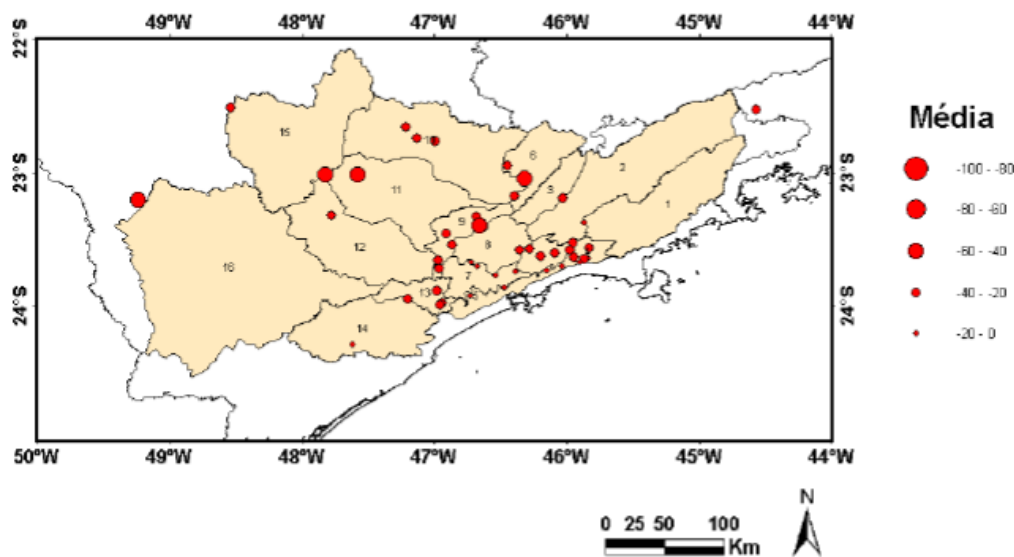


Figura 8 - Mudanças na vazão média nos períodos futuros em relação à vazão no período de 1960 a 1990 no cenário de mudanças climáticas RCP 4.5 - 2015-2039

- **Probabilidade de ocorrência de estiagens severas (2013-2014) nas vazões**

Para avaliar a probabilidade de ocorrência de estiagens severas, como a ocorrida em 2013-2014, foram obtidas vazões equivalentes, a partir da série de vazões simuladas em 1960-1990 (dentro da série de 1930 e 2013), período esse que possui a mesma probabilidade de ocorrência das vazões naturais de 2013-2014. Deve ser notado que as vazões de 2013-2014 não representam estiagens severas em todas as estações analisadas e os resultados expostos servem como uma referência quando considerados os pressupostos assumidos nos cenários estudados. Destacam-se os seguintes resultados:

- Os resultados sugerem uma maior frequência de ocorrência de estiagens estatisticamente similares às registradas durante 2013-2014.
- Na área montante represas do Cantareira, onde a estiagem 2013-2014 foi mais severa, as probabilidades de ocorrência deste evento, em cada período de 30 anos, variam entre 5% e 20%, dependendo do cenário e do período estudado. No caso da probabilidade de ocorrência de pelo menos um evento deste tipo em cinco anos consecutivos, a mesma varia entre 20% e 50%, com uma ampla dispersão nos diferentes períodos e cenários.

#### • **Resumo dos resultados do estudo de mudanças climáticas:**

Resumindo, de acordo com SABESP (2016a), os principais resultados apresentados pelo estudo de mudanças climáticas foram:

- As análises dos regimes de precipitação projetados pelo modelo Eta-INPE, para o período 2015-2050 mostram mudanças, sendo que para o Verão se projeta uma diminuição da precipitação pluviométrica para os dois cenários (RCP4.5 e RCP8.5), com valores de até 30% em quase toda a área estudada. Além disso, quanto a variável temperatura observa-se aumento de 2°C a 3°C, em ambos cenários de emissão para o período 2011-2040, e para o período 2041-2070, no cenário RCP 4.5;
- Quanto à classificação dos períodos chuvosos, comparando o período histórico (1976 a 2005) com o período futuro (2011 a 2050) foi possível verificar um aumento significativo de números de anos Muito Secos e Secos, no futuro, com frequência em torno de 50%;
- Quanto às estimativas de impacto nas vazões, em geral, ambos cenários apresentam uma diminuição das vazões médias anuais de longo termo nas regiões estudadas;
- Quanto à probabilidade de ocorrência de estiagens como as ocorridas em 2013-2014, os resultados sugerem uma maior frequência de ocorrência de estiagens estatisticamente similares às registradas nestes anos. Na área montante das represas do Cantareira, onde a estiagem 2013-2014 foi mais severa, as probabilidades de ocorrência deste evento, em cada período de 30 anos, variam entre 5% e 20%, dependendo do cenário e do período estudado.
- Deve ser notado que as vazões de 2013-2014 não representam estiagens severas em todas as estações analisadas e os resultados expostos servem como uma referência quando considerados os pressupostos assumidos nos cenários estudados.

Em suma, o Estudo de Avaliação das Mudanças Climáticas projetou uma diminuição nas precipitações e a elevação da temperatura na área estudada, que causariam impactos nas vazões dos recursos hídricos em sub-bacias das UGRHs de São Paulo. O estudo mostrou também que existe a probabilidade de ocorrer um cenário de estiagem semelhante ao ocorrido em 2014-2015.

### **ANÁLISE DOS RESULTADOS**

As garantias da disponibilidade hídrica de 95% para o setor de Saneamento sempre foram consideradas adequadas, porém com a crise hídrica, este patamar mostrou-se limitante para abastecer de forma adequada uma região com cerca de 20 milhões de pessoas. Este fato gerou a necessidade de se ampliar a segurança hídrica dos principais sistemas produtores da RMSP, provocando uma mudança de paradigma nos estudos de disponibilidade hídrica.

Assim, a avaliação foi estendida para diferentes níveis de garantia de disponibilidade hídrica, diferentemente dos planos anteriores, optando-se por verificar o que ocorreria com as disponibilidades hídricas considerando garantias de 95% a 100%, e não somente avaliar a garantia de 95%. Desta forma, com os estudos desenvolvidos entendeu-se que existe a necessidade da elevação da garantia de disponibilidade hídrica para um patamar mínimo de 98% em toda RMSP.

Além disso, os sistemas foram avaliados de forma “isolada” e de forma “integrada”, justamente para se avaliar o nível de garantia que se imprime aos sistemas na condição destes sistemas serem interligados através do Sistema Adutor Metropolitano - SAM.

Quanto à vulnerabilidade e aos impactos das mudanças climáticas sobre os recursos hídricos, entendeu-se que se trata, certamente, de um assunto estratégico, e que permite planejar potenciais medidas de adaptação em associação às ações existentes de gerenciamento dos recursos hídricos.

## **CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES**

Os resultados mostram que a partir da crise hídrica verificada nos períodos de 2014-2015 é necessária uma mudança no planejamento de disponibilidade hídrica para atendimento ao abastecimento da população na RMSP. Concluiu-se que é necessária a elevação da garantia de disponibilidade hídrica para patamar mínimo de 98% em toda RMSP.

Recomendamos que para estudos de disponibilidade hídrica em Regiões Metropolitanas e em bacias hidrográficas importantes e complexas, sejam estudados outros valores de garantias, e que sejam avaliados os níveis de atendimento às demandas existentes e futuras, conciliando riscos aceitáveis com capacidade de financiamentos e gestão dos recursos hídricos.

Em vista dos diversos episódios de eventos extremos que vem ocorrendo no Brasil e no mundo, os planejadores e tomadores de decisão devem considerar como assunto estratégico os impactos das mudanças climáticas sobre os recursos hídricos.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

1. ALBANO, Gustavo Doratioto. 2004. Integração de um Modelo Matemático de Quantidade de Água em Rede de Fluxo (ACQUANET) com um Modelo de Qualidade de Água em Represas (CE-QUAL-R1). Estudo de Caso: Represa Jaguari-Jacareí - Sistema Cantareira. São Paulo: Dissertação de Mestrado - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2004.
2. SABESP. Termo de Referência – Concorrência SABESP n.º 42.424/12 - Revisão e Atualização do Plano Diretor de Abastecimento de Água da Região Metropolitana de São Paulo – RMSP (PDAA). 2012.
3. SABESP. CHES - Crise hídrica, estratégia e soluções da Sabesp para a Região Metropolitana de São Paulo. Sabesp. 2015.
4. SABESP. Avaliação da Disponibilidade Hídrica de Mananciais para utilização na RMSP. Revisão e Atualização do Plano Diretor de Abastecimento de Água da Região Metropolitana de São Paulo – RMSP (PDAA). Relatório Parcial RP02. Rev. 05. 2016.
5. SABESP. Análise dos impactos das mudanças climáticas nos regimes de precipitação e vazão nas UGRHs Paraíba do Sul, Piracicaba/Jundiá/Capivari, Alto Tietê, Baixada Santista, Tietê/Sorocaba, Ribeira do Iguape e Alto Paranapanema. Revisão e Atualização do Plano Diretor de Abastecimento de Água da Região Metropolitana de São Paulo – RMSP (PDAA). Relatório Parcial RP01. Rev. 01. 2016a