SECRETARIA DE SANEAMENTO E RECURSOS HÍDRICOS
DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA
R. Boa Vista, 170 – 11º andar – Tel. 3293-8200 – CEP 01014-000 – São Paulo – SP
<www.daee.sp.gov.br>

PROPOSTA DE APERFEIÇOAMENTO DO MODELO DE FAIXAS (APRESENTADO EM REUNIÃO NA SSRH EM 8 DE SETEMBRO)

1. Introdução

O objetivo do Governo do Estado de São Paulo-ESP é garantir às populações da bacia do Rio Piracicaba e da Região Metropolitana de São Paulo quantidades de água que atendam às suas necessidades. Tais necessidades devem ser vistas dentro de um contexto amplo, que considere questões de Segurança Hídrica e o do Aproveitamento Racional das Águas do Sistema Cantareira.

Assim, por necessidades de água, deve ser entendido o uso para abastecimento público, prioritário em épocas de escassez, os usos outorgados e demais usos, como rural, industrial, entre outros.

2. Operação de Reservatórios

Operar um reservatório (ou sistema de reservatórios) significa definir quanta água deve ser retirada, ao longo do tempo, (para o atendimento das necessidades imediatas) e quanta água deve ser estocada no reservatório (para garantir a segurança futura). Tais objetivos são conflitantes e a busca do necessário equilíbrio entre estes fatores constitui um problema de difícil solução, em razão das incertezas e imprevisibilidades que caracterizam o comportamento ciclo hidrológico e o porte e a variação das demandas. A principal ferramenta a disposição dos técnicos na busca do citado equilíbrio são os chamados Modelos Matemáticos de Operação de Reservatórios.

Até a presente data os estudos técnicos tanto do DAEE como da ANA concentraram-se na análise destes modelos. Ambos os órgãos apresentaram propostas e as discussões objetivam a escolha da alternativa de maior eficiência, que satisfaça as expectativas dos interessados.

Segundo premissas adotadas pelos órgãos gestores, o modelo escolhido deverá definir a vazão que a RMSP terá disponível na saída da Estação Elevatória de Santa Inês- EESI, ao longo do tempo.

O mesmo modelo definirá também a vazão que os reservatórios Jaguari-Jacarei, Cachoeira e Atibainha deverão descarregar, para atendimento das necessidades ao longo destes cursos de água.

Importante frisar que as vazões descarregadas (seja para a RMSP, seja para a bacia do Piracicaba) devem ser feitas com parcimônia, para possibilitar maiores estoques de água nos reservatórios e, assim, contribuir para a segurança hídrica do Sistema.

3. Princípios operacionais

O Governo do Estado de São Paulo entende que racionalidade e parcimônia no uso da água devem ser atributos essenciais da operação do Sistema e, para tanto devem ser considerados os seguintes pontos:

1. Deve ser descarregada para jusante dos reservatórios uma vazão para manutenção da vida aquática e outros pequenos usos. A experiência de cerca de cerca de 40 anos na operação do Sistema, mostra que esta vazão pode ser de porte modesto. Estudos e entendimentos mais detalhados podem definir melhor o valor desta vazão.
2. Em adição a esta vazão devem ser feitas descargas complementares para garantir vazões adequadas**,** ao longo dos cursos de água do Jaguari, Cachoeira e Atibainha. Por vazões adequadas entende-se aquelas que atendem às demandas prioritárias de abastecimento público e os usos outorgados, entre outros.

3. A água poupada deve ser armazenada para constituir reservas estratégicas para aumentar a segurança hídrica do sistema.

4. Outorga concedida para o período 2004 – 2014

No período de 2004-2014 o Sistema Cantareira foi operado com base na conhecida técnica da Curva de Aversão a Risco- CAR acoplada a um sistema de Banco de Águas, que permitia ao PCJ e RMSP estocarem reservas para uso futuro. O período crítico utilizado foram os dois anos mais secos até então, ou seja, o biênio 1953/54.

A CAR determina, ao longo dos meses, o quanto se pode tirar do sistema em função do armazenamento existente no reservatório, em um determinado mês. A CAR incorpora o princípio universalmente consagrado de que, quanto maior o armazenamento maior poderá ser a vazão retirada. Evidentemente, mesmo que os níveis dos reservatórios estejam altos não se deve retirar toda a vazão autorizada pela CAR, se esta não for necessária para atender aos objetivos definidos. Neste último caso os usuários são naturalmente incentivados a armazenarem água em seus respectivos Bancos de Água para uso futuro.

As regras de operação da outorga de 2004 funcionaram satisfatoriamente desde agosto de 2004 até 2014. Os gráficos das Figuras 1ª e 1B mostram as vazões retiradas nesse período.

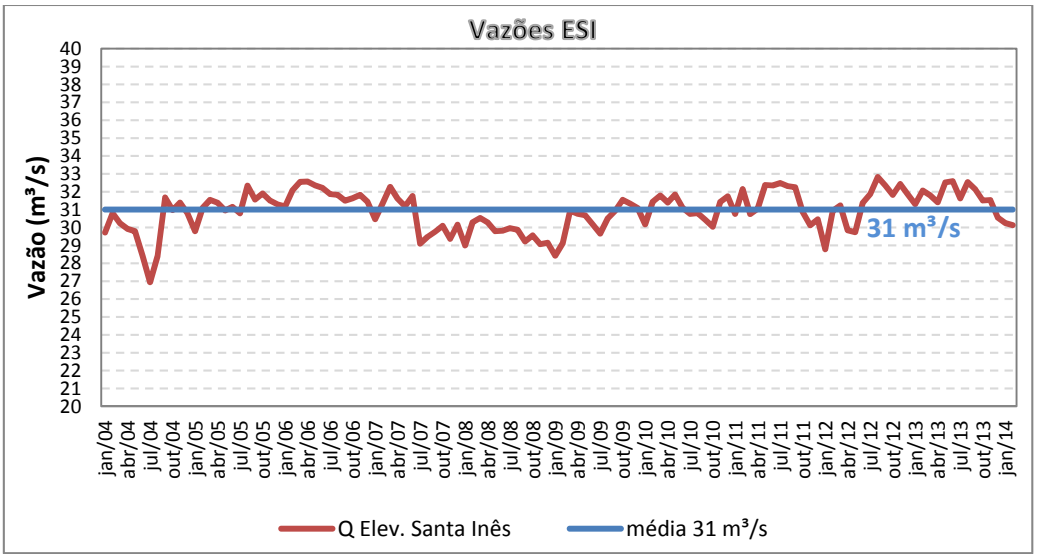

Figura 1A - Retirada de vazão na ESI no período de Janeiro de 2004 a Janeiro de 2014

Observa-se que as vazões que atendem a Estação Elevatória de Santa Inês sofrem as variabilidades normais de um sistema de abastecimento de tal proporção. Estes valores mostram que a outorga solicitada pela Sabesp de 33 m³/s, como limite máximo mensal está dentro do razoável. No gráfico observa-se que valor médio mensal retirado para a RMSP foi de 30,9 m³/s e valor máximo de média mensal de 32,8 m³/s durante o período analisado. Esta operação mostra que os limites da outorga foram respeitados.

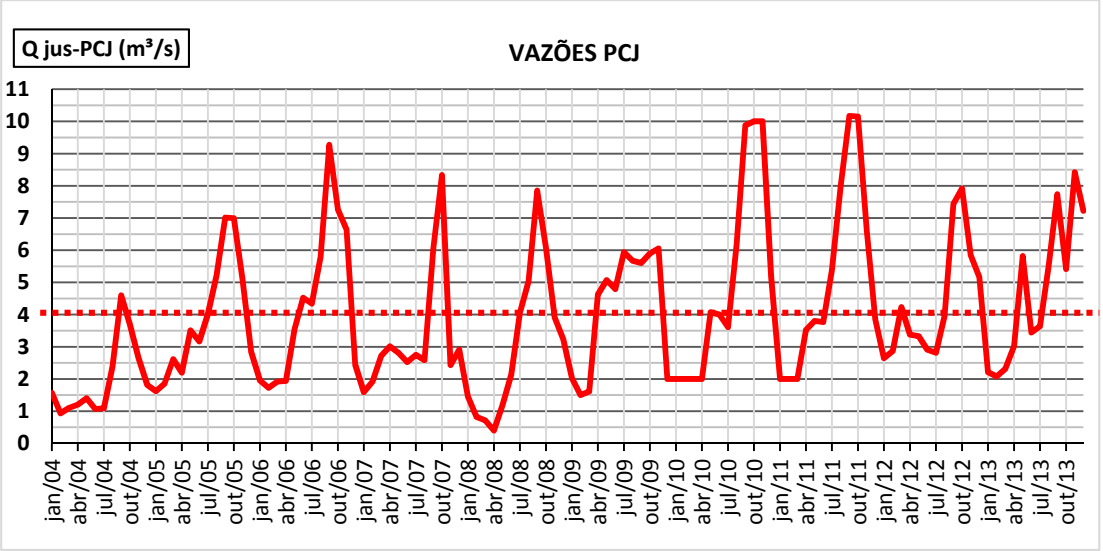

Figura 1B – Descargas para jusante dos aproveitamentos do Sistema Equivalente no período de Janeiro de 2004 a Dezembro de 2013.

Observa-se, na Figura 1B, a vazão média descarregada para as Bacias PCJ, de 4,06 m³/s, e um comportamento característico de vazões inferiores à média do período nos meses de úmidos e superiores à média nos meses de estiagem.

5. Modelagem Matemática do Sistema Cantareira para Outorga Futura

A partir de janeiro de 2015 a atual administração da SSRH e DAEE passaram a interagir com a ANA no sentido de formular um modelo de operação do sistema de reservatórios que atendesse os princípios operacionais descritos no item 3. Ao contrário da outorga concedida em 2004 que considerava o ponto de controle para outorga da SABESP o túnel 5, o ponto de controle passou a ser o exutório da Estação Elevatória de Santa Inês.

Na reunião de 28/07/2015 na sede da ANA, o DAEE trouxe à consideração do grupo um modelo denominado **DELTAV** onde as descargas para a RMSP e para a bacia do Piracicaba eram uma função linear do volume armazenado no sistema e do gradiente de vazões afluentes.

A ANA por sua vez propôs a utilização de um modelo de zoneamento do volume do reservatório com base na CAR. As discussões convergiram para a utilização do modelo da ANA com alguns aperfeiçoamentos propostos pelo DAEE como a criação de um volume do regulador e o zoneamento feito com base em simulação do período 1930-2013 ao invés da CAR. Esse modelo passou a ser denominado de **modelo de faixas**.

A simulação da operação de Jan/1930 a Dez/2015 apresentados na reunião do dia 08/09/2015 resultante do modelo de faixas, atende as necessidades da Região Metropolitana de São Paulo RMSP, com restrições. Pois quando analisada curva de permanência para a série completa, as garantias são satisfatórias, mas este resultado não considera as variabilidades sazonais que necessitam que algumas flexibilizações operacionais.

Tabela 1 - Resultados da operação Jan/1930 - Dez/2015

Estatísticas de vertimento		
182	Meses com vertimento (17,6%do total)	
5,49	Vazão média vertida (m³/s)	
Estatísticas de volume		
803,29	Volume percentil 50% (81,8% do total)	
-43,33	Volume mínimo (-4,4% do total)	
4	Meses com volume negativo (0,4%)	
Estatísticas de vazão média (m³/s)		
43,44	Afluência	
31,22	Sabesp (EE-SI)	
6,74	PCJ	
Estatísticas de vazão mínima (m³/s)		
5,21	Afluência	
15,00	Sabesp (EE-SI)	
3,00	PCJ	

Percentil	Sabesp (EE-SI)	PCJ	Vertimento
0%	33,00	8,00	140,40
1%	33,00	8,00	75,83
5%	33,00	8,00	41,57
10%	33,00	8,00	21,24
15%	33,00	8,00	7,24
20%	33,00	8,00	0,00
25%	33,00	8,00	0,00
30%	33,00	8,00	0,00
40%	33,00	8,00	0,00
50%	31,00	6,00	0,00
60%	31,00	6,00	0,00
70%	31,00	6,00	0,00
75%	31,00	6,00	0,00
80%	31,00	6,00	0,00
85%	31,00	6,00	0,00
90%	31,00	6,00	0,00
95%	27,00	5,00	0,00
99%	15,00	3,00	0,00
100%	15,00	3,00	0,00

Na Tabela 1 de resultados não é possível identificar a eficiência da regra proposta para o estímulo do uso racional dos volumes do sistema. Por exemplo, utilizando-se valores fixos no pé da barragem proposto pelo modelo de faixas, têm-se 40% do tempo uma descarga de 8 m³/s independentemente da situação hidrológica da bacia à jusante do sistema. Esse volume descarregado poderia ter sido armazenado e aumentado as vazões mínimas para além dos 3 m³/s indicados na referida tabela para o PCJ.

6. Aperfeiçoamentos Possíveis para racionalização do Uso da Água

Vários aperfeiçoamentos são possíveis para racionalizar o uso das águas do Sistema Cantareira. Uma delas é a **proposta no item B4** da proposta guia da ANA onde se define para o período seco um volume máximo possível de ser utilizado pelo PCJ. Esse volume dependeria do volume armazenado no início do período (maio ou junho) seco na bacia.

O DAEE vem propor à parceira ANA um aperfeiçoamento que considera uma vazão meta em um ponto notável da bacia à jusante. Essa versão do modelo de faixas recebe o nome de **modelo de faixas + vazões meta**. A título de exemplo de utilização de tal modelo, escolheu-se como ponto notável na bacia, o Posto Fluviométrico (D3-051T/3D0007T), localizado próximo a cidade de Valinhos.

Adotam-se as seguintes premissas:

- As descargas para a RMSP foram determinadas pelo modelo de faixas, apresentado na última reunião realizada na SSRH em 08/09/2015
- A simulação foi realizada com discretização mensal
- Escolheu-se local de análise o posto fluviométrico de Valinhos devido a disponibilidade de dados.

- A Vazão Meta a ser mantida em Valinhos adotada no exemplo foi de 12 m³/s para efeito de ilustração da metodologia, quando o volume do sistema atinge o volume do regulador (volume inferior a 200 Hm³ do volume útil) a vazão a ser mantida é de 5 m³/s em Valinhos.
- As simulações foram feitas com a serie hidrológica de 1930 a 2015. Para facilitar a interpretação dos resultados, estes foram particionados em dois períodos: Jan 1930 – Dez 2013 e Jan 2014 – Ago 2015. Esta separação foi realizada para ter um entendimento melhor da intensidade da seca de 2014 e do comportamento do modelo em duas situações: operação normal e operação no volume do regulador.

A Figura 2 ilustra a operação com as premissas acima para o período de Janeiro de 1952 a Dezembro de 1970. Para atender a essas premissas, as descargas do Sistema devem obedecer a vazões básicas (mínimas) no pé da barragem, (neste exemplo foi adotado 1 m³/s a jusante do Reservatório do Atibainha e 1 m³/s do Reservatório do Cachoeira). Desta forma estes 2 m³/s são descarregados do Sistema de forma constante. A esta vazão básica, constante, são despachadas vazões incrementais de forma a completar os 12 m³/s desejados (vide áreas hachuradas em cor cinza no gráfico)

Na Figura 2 ainda é possível observar que quando a vazão produzida pela área de drenagem intermediária entre as barragens e Valinhos é igual ou maior do que 10 m³/s, são retirados apenas os 2,0 m³/s, definidos como vazão básica constante. Quando a vazão gerada na bacia intermediária mais a vazão básica (mínima) não atingirem os 12 m³/s os reservatórios devem despachar uma vazão complementar suficiente para atingir a Vazão Meta de 12 m³/s. Por exemplo, no ponto apontado pela seta verde (Figura 2) a vazão produzida pela área intermediária é de apenas 4,0 m³/s e, portanto o reservatório deve despachar 8,0 m³/s (área cinza).

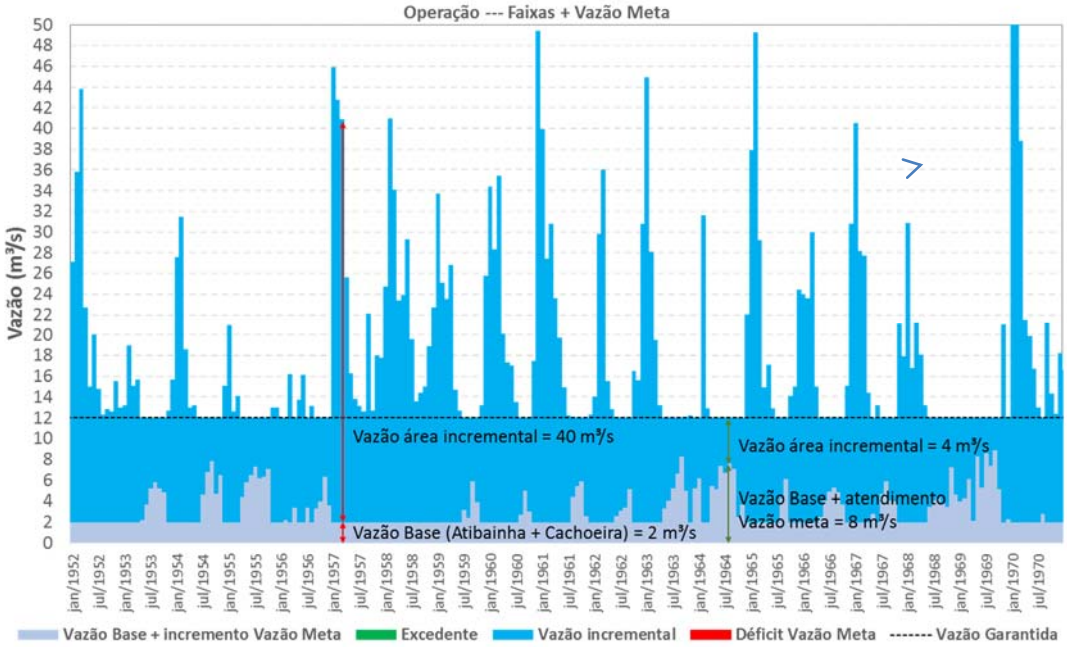

Figura 2 - Operação racional do Sistema para garantir a vazão mínima de 12 m³/s em Valinhos

Na Figura 3 é apresentada uma simulação com o Modelo de Faixas apresentado na reunião de 8 de setembro, em que, nos meses que o reservatório está com armazenamento elevado, descarregam-se vazões altas (8 m³/s). Estas vazões não são utilizadas pelos usuários de jusante, pois as áreas de drenagem intermediárias produzem água mais do que suficiente para atender as necessidades destes usuários. A título de exemplo, no mês assinalado pela seta vermelha poderiam ser economizados 5 m³/s em média. Este volume deveria ser estocado nos reservatórios, aumentando assim a segurança hídrica do sistema.

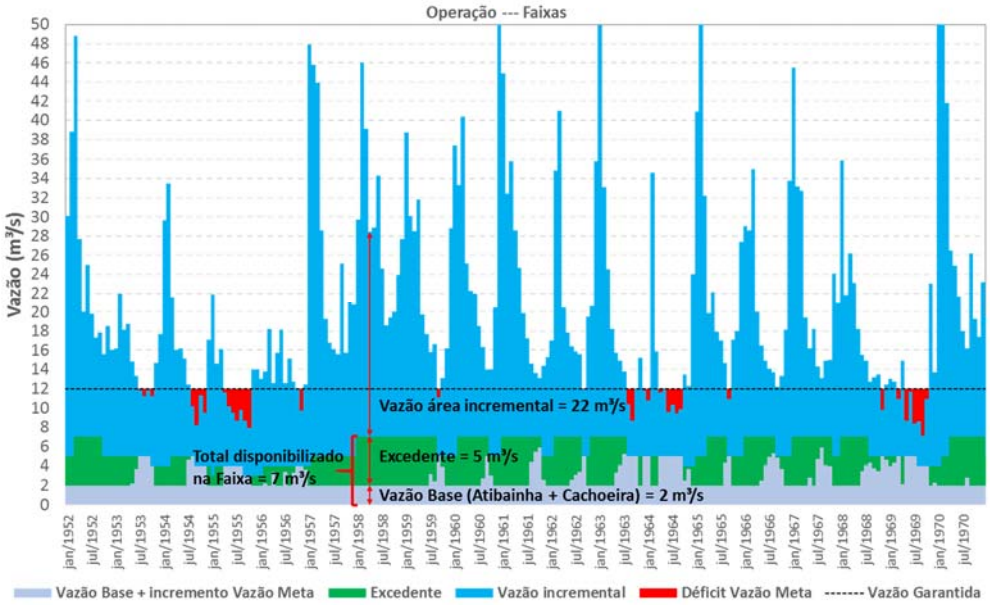

Figura *3* - Liberação de água em excesso.

Na Tabela 2A são apresentados os resultados comparativos entre a aplicação do Modelo de Faixas e do Modelo de Faixas + Vazão Meta para o período 1930 – 2013, que se considera como operação normal. Observa-se um valor de 7,1 m³/s para o modelo de faixas e 12 m³/s quando se complementa o modelo de faixas com o atendimento a vazão meta (modelo de faixas + vazão meta).

Fica também evidente na tabela 2a que a vazão média no pé da barragem que se destina ao Piracicaba diminui, mas esta diminuição deve-se à economia nas descargas em períodos em que o Piracicaba tem vazão que atendem as necessidades estabelecidas, uma vez que a vazão meta é atendida em 100% do tempo.

Outro ponto importante analisado é que a vazão média para o Piracicaba para o período de janeiro de 2014 a dezembro de 2015 é maior para a simulação com Modelo de Faixas + Vazão Meta, como apresentado na Tabela 2B.

A simulação mostra que no período crítico (2014/2015) o modelo de faixa + vazão meta buscou atender a vazão mínima em Valinhos com prioridade. A vazão média disponibilizada foi de 4,27 m³/s, aproximadamente 1 m³/s a mais que a média do período obtido pelo modelo de faixas. A vazão mínima mantida em Valinhos no período de Jan/2014 a Dez/2015 foi de 5 m³/s enquanto que o modelo de Faixas obteve um resultado de 2,90 m³/s de mínima. Estes resultados atestam as vantagens desse aperfeiçoamento proposto ao modelo de faixas.

Tabela 2A - Resultados da operação Jan/1930 - Dez/2013, simulação com Modelo de Faixas e Modelo de Faixas + Vazão Meta

	Período 1930-2013			
Resumo	Modelo de faixas		Modelo de faixas+ Vazão Meta	
	RMSP (ESI)	PCJ	RMSP (ESI)	PCJ
Vazão média no pé da barragem (m³/s)	31,54	6,82	32,07	3,52
Vazão mínima no pé da barragem (m³/s)	23,00	4,00	23,00	3,00
Volume mínimo (hm³)	199,17		206,82	
Vazão média em Valinhos (m³/s)	**25,17**		**21,86**	
Vazão mínima em Valinhos (m³/s)	**7,10**		**12,00**	
Meses com vertimento	184		266	
Vazão média vertida (m³/s)	5,66		8,37	

Tabela 2B - Resultados da operação Jan/1930 - Dez/2013, simulação com Modelo de Faixas e Modelo de Faixas + Vazão Meta

	Período 2014-2015			
Resumo	**Modelo de Faixas**		**Modelo de Faixas + Vazão Meta**	
	RMSP (ESI)	PCJ	RMSP (ESI)	PCJ
Vazão média no pé da barragem (m³/s)	16,83	**3,25**	18,50	**4,27**
Vazão mínima no pé da barragem (m³/s)	15,00	3,00	15,00	3,00
Volume mínimo (hm³)	-59,45		-47,01	
Vazão média em Valinhos (m³/s)	**9,35**		**10,36**	
Vazão mínima em Valinhos (m³/s)	**2,90**		**5,00**	
Meses com vertimento	0		0	
Vazão média vertida (m³/s)	0		0	

A Tabela 3 apresenta os valores descarregados pelos Reservatórios Cachoeira e Atibainha que são os contribuintes para o Rio Atibaia. A tabela apresenta o volume total

descarregado e o volume descarregado excedente ao complemento a vazão meta. O modelo de faixas despacha vazões no pé da barragem que muitas vezes superam os valores de vazão meta em Valinhos.

Tabela 3 - Oportunidades de economia de água

	Jan/1930 - Dez/2013	
Despacho Cachoeira/Atibainha	Volume médio anual	Número de meses
Descarregado por modelo de faixas apresentado em 08/09/2015 (hm³)	183,68	1008
Economia possível com aperfeiçoamento do modelo de faixas + vazão meta (hm³)	107,64	938,00
Volume economizado em (%)	59%	93%

Os resultados obtidos para este exemplo, apresentados na Tabela 3, mostram que 59% da vazão despachada pelos reservatórios Cachoeira e Atibainha excederam a vazão necessária no pé da barragem para manter a vazão meta a vazão meta em Valinhos. Desta forma este volume liberado em excesso poderia ser armazenado no reservatório para garantir a segurança hídrica do sistema.

7. Conclusão

A utilização de vazões meta na bacia e do escoamento natural como complemento às descargas no pé da barragem possibilitou uma melhoria de resultados tanto para as vazões aduzidas para a RMSP como pelas garantidas na bacia. Trata-se de um aperfeiçoamento ao modelo de faixas que julgamos poderá minimizar eventuais conflitos entre os usuários.

O DAEE apresenta essa proposta de aperfeiçoamento ao modelo de faixas apresentado na reunião de 8 de setembro com intuito de somar esforços e se mantém aberto a outros aperfeiçoamentos que por ventura a ANA queira discutir visando a construção de uma proposta de consenso.

DAEE, 23 de setembro de 2015

Ricardo Daruiz Borsari
Superintendente