

## **ANÁLISE DAS ESTRATÉGIAS DE OPERAÇÃO DE HIDROSSISTEMAS: O CASO DO HIDROSSISTEMA DE CRUZETA – RN**

*Samiria Maria Oliveira da Silva<sup>1\*</sup> & Sandra Helena Silva de Aquino<sup>2</sup> & Francisco de Assis de Souza Filho<sup>3</sup>*

**Resumo** – O estudo de caso de Cruzeta tem por objetivo avaliar o impacto de duas estratégias de operação de hidrossistemas nos setores de irrigação e abastecimento urbano. Para isso utilizou-se uma estratégia de longo prazo e outra de curto prazo (estratégia com salvaguardas). Na primeira verificou-se que em alguns períodos toda a água do reservatório é utilizada não atendendo a demanda de nenhum usuário, mesmo os mais prioritários. Assim, é preciso impor níveis de racionamento mais severos e longos para usuários menos prioritários para manter o atendimento de usos como o abastecimento urbano. Isto pode ser alcançado com a incorporação de salvaguardas na operação de hidrossistemas que é realizada através do zoneamento do lago (definição de níveis de alerta). Na operação com salvaguardas, o reservatório passa a ter volumes armazenados maiores dando maior sensação de segurança aos operadores do sistema. O preço pago por esta sensação é o aumento das falhas para o usuário de menor prioridade. Uma forma de reduzir esse risco seria incorporar a informação climática na operação dos hidrossistemas. Isto porque com a informação climática é possível antecipar os cenários que poderão ocorrer no futuro e elaborar medidas preventivas contra o risco previsto.

**Palavras-Chave** – Hidrossistemas e Risco.

### **STRATEGIES HYDROSYSTEMS OPERATION: RISK OF FAILURE OF THE CRUZETA HYDROSYSTEMS**

**Abstract** – The case study of Cruzeta aims to evaluate the impact of two strategies hydrosystems operation in the sectors of irrigation and urban supply. For this, was used a long-term strategy and a short-term strategy (strategy with hedding). At first, was observed that at certain times throughout the water reservoir is used that does not meet the demand for any user, even the highest priority. Thus, it is necessary to impose more severe levels of rationing and long for users less priority to maintain compliance of uses such as urban supply. This can be achieved by incorporating hedding in the hydrosystems operation which is performed by zoning the lake (setting warning levels). In short-term strategy, the reservoir is replaced by larger volumes stored giving greater sense of security to the system operators. The price paid for this is the increased feeling of failure for the user with lower priority. One way to reduce this risk would be to incorporate climate information in the hydrosystems operation. This is because with the climate information enables anticipating scenarios that may occur in the future and develop preventive measures against the predicted risk.

**Keywords** – hydrosystems and risk.

<sup>1</sup> Doutoranda em Recursos Hídricos do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental - Universidade Federal do Ceará. samiriamaria@hotmail.com

<sup>2</sup> Mestre em Desenvolvimento e Meio Ambiente. sandraaquino@hotmail.com

<sup>3</sup> Professor Adjunto II do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental - Universidade Federal do Ceará. Campus do Pici, Bloco 713. Telefone: (85) 33669623; Fax: 33669627; assissouzafilho@gmail.com

## 1. INTRODUÇÃO

A disponibilidade hídrica para os diversos fins é condicionada pela regra de operação do sistema de reservatórios. Esta regra de operação frequentemente esta associada a determinado horizonte temporal (curto, médio e longo prazo). As estratégias de curto prazo utilizam salvaguardas com volumes de alerta e níveis de racionamento que reduzem a possibilidade de colapso total do sistema, enquanto as regras de operação de longo prazo procuram ter números de referência para a disponibilidade hídrica não tendo essas salvaguardas bem detalhadas. Esta diferenciação de abordagem pode produzir diferenças significativas entre a expectativa de garantias (obtida pela operação de longo prazo) e as garantias obtidas pelo sistema (obtidas pela operação de curto prazo).

A aversão a risco, na operação em situação de incerteza sobre o futuro, leva os tomadores de decisão a definirem como cenário de análise o pior estado da natureza, procurando uma estratégia de maximização da pior situação, o que se costuma chamar de estratégia *maxmin* (maximizar o mínimo). Esta situação é a que ocorre na operação de reservatórios no Nordeste do Brasil.

As aflúncias aos reservatórios nesta região estão submetidas a grande variabilidade interanual e como forma de reduzi-lá os reservatórios tem uma função de regularização plurianual (transportar no tempo água dos anos mais úmidos para os mais secos). Nesta situação surge a questão de quanta água deve-se deixar para o próximo ano com vistas a garantia de abastecimento de usos prioritários, usos estes que estão associados a grandes perdas devido ao desabastecimento. A estratégia de máxima aversão a risco hipotetiza que as vazões no próximo período úmido (frequentemente próximo ano) têm as menores vazões anuais observadas na história que usualmente é zero.

Do ponto de vista econômico, o ideal seria utilizar uma estratégia menos conservadora e que gere maiores rendimentos. Entretanto, não se tem conhecimento de um valor de vazão que maximize os benefícios líquidos do hidrossistema a não ser em termos de regras de hedge (Draper & Lund, 2004). Desta forma, este estudo propõe avaliar o impacto de duas estratégias de operação de hidrossistemas nos setores de irrigação e abastecimento urbano por meio de um estudo de caso do hidrossistema de Cruzeta.

## 2. HIDROSSISTEMA DE CRUZETA

O hidrossistema Cruzeta é composto pelo o município de Cruzeta, o reservatório da cidade, o Perímetro Irrigado que se localiza a jusante do reservatório e uma Irrigação difusa que se encontra a montante dele.

O município de Cruzeta está localizado no estado do Rio Grande do Norte e se distancia aproximadamente 220 km da capital Natal. Ele possui uma população total de 7.967 habitantes (IBGE, 2010), sendo que desse total, 6.521 habitantes vivem na área urbana, evidenciando um forte processo de urbanização da cidade.

O reservatório Cruzeta é a única fonte de abastecimento deste hidrossistema. Ele foi construído pelo DNOCS em 1929, com capacidade de acumulação de 35 milhões de metros cúbicos. Atualmente, ele encontra-se assoreado em função de problemas ambientais da região, alguns desses ocasionados, principalmente, pela atividade da pecuária tendo uma redução da sua capacidade para 23,5 milhões de metros cúbicos.

A irrigação difusa está localizada nas vazantes do reservatório Cruzeta. A Secretária de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Estado do Rio Grande do Norte realizou um levantamento no ano de 2012 e estimou que a área ocupada por esta irrigação é de 52,25 ha, bem como identificou como a forrageira a cultura irrigada.

O perímetro irrigado de Cruzeta, localizado na cidade de Cruzeta, com acesso pela BR- 427 compõe um primeiro grupo de perímetros de irrigação de colonos familiares em solo aluvionar, sendo a irrigação praticada em áreas próximas a rios. As obras para sua implantação foram iniciadas em 1970, mas somente seis anos depois foram assentadas as famílias no perímetro irrigado de Cruzeta, cujo sistema de irrigação adotado é infiltração por sulco desde a sua constituição. Este perímetro possui uma superfície irrigável de 124,1 ha, mas, apenas 105 ha estão em produção. Esta área foi desapropriada por interesse social com o propósito de obter um grupo de trabalhadores rurais que aceitasse e se dispusesse a aprender novas técnicas e uso de tecnologias, até então, não utilizada pelos mesmos, uma vez que a maioria era proveniente da agricultura de sequeiro, gerando, inicialmente dificuldade de adaptação a esse novo modelo de produzir.

Caracterizado, de modo geral, o hidrossistema de Cruzeta onde o perímetro de irrigação configura-se como maior usuário de água, a seguir é apresentada a metodologia de avaliação do impacto da operação de longo prazo na disponibilidade hídrica do referido hidrossistema.

### 3. METODOLOGIA

#### 3.1. Oferta e demanda hídrica

Neste item será avaliada a demanda e oferta hídrica do hidrossistema de Cruzeta. A demanda hídrica da irrigação será obtida a partir da determinação da evapotranspiração das culturas (ETc) que será calculada através do produto da evapotranspiração potencial (ETP) pelo coeficiente de cultura (Kc).

Os valores médios de Kc serão provenientes do banco de dados FAO 56 (Allen *et al.*, 1998). A ETP será calculada pelo método de Hargreaves através do Sistema de Estimativa de Evapotranspiração (SEVAP) da Universidade Federal de Campina Grande (Silva, *et al.*, 2005) sendo desprezado a precipitação ocorrida na região devido à utilização de precipitação média introduzir viés úmido nos períodos secos sob análise, a alta variabilidade do regime pluviométrico impõe que este viés seja pronunciado na região.

Com isso, a demanda da irrigação será estimada para cada cultura a partir da equação 1.

$$Dem Irr = \frac{ETC \times A}{\eta} \quad (1)$$

Onde  $\eta$  é a eficiência de aplicação do método de irrigação obtida no órgão gestor do perímetro e A é a área de uma determinada cultura.

Enquanto que, a demanda hídrica do município de Cruzeta será estimada a partir da série histórica de retiradas do açude de Cruzeta.

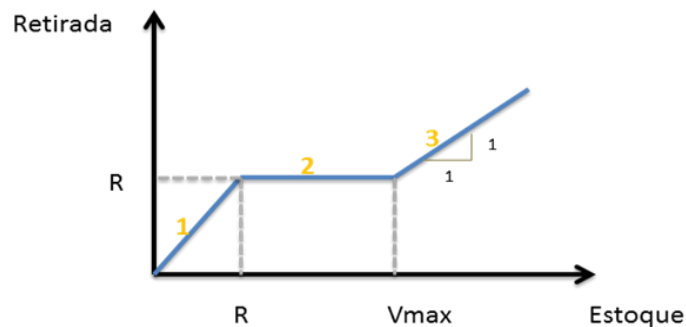
A oferta hídrica atual será avaliada através dos dados de vazões afluentes e das retiradas do reservatório de Cruzeta bem como, da evaporação da região obtida do Plano Estadual de Recursos Hídricos do Rio Grande do Norte (SERHIDRO, 1998).

#### 3.2. Estratégias de operação do hidrossistema

Para a análise será utilizada duas estratégias de operação de hidrossistemas, são elas: estratégia de longo prazo e estratégia de curto prazo (com salvaguardas).

A estratégia de operação de longo prazo é frequentemente utilizada nos planos de recursos hídricos para obter a vazão regularizada do reservatório com garantia de 90% (vazão a ser alocada na outorga de uso da água). Ela compõe-se de três estágios de liberação em função do volume armazenado (Figura 1):

- ✓ No terceiro estágio (3) o volume do reservatório é maior que o volume máximo de conservação (caso não haja comportas). Neste estágio, o reservatório liberará uma vazão controlada (R) pré-determinada mais o vertimento, ou seja, a vazão não controlada.
- ✓ O segundo estágio (2), o volume do reservatório (V) é suficiente para suprir toda a vazão regularizada (R), neste caso a liberação é igual à vazão regularizada.
- ✓ No primeiro estágio (1), o reservatório está com volume menor que o necessário no período para suprir o volume da vazão regularizada (R). Nesta situação libera-se o volume de água disponível no reservatório secando-o.



**Figura 1.** Regra de Operação utilizada na estimativa da vazão regularizada de longo prazo.

As salvaguardas consistem na imposição do racionamento para alguns usos antes do reservatório fique próximo do colapso. A estratégia de operação com salvaguardas tem duas zonas. Na primeira, mais elevada, ocorre quando o volume estocado é maior que o volume de alerta e menor que o volume máximo, nesta zona libera-se a vazão regularizada. Na segunda zona que ocorre quando o reservatório estiver com volume menor que o volume de alerta a liberação é uma fração da vazão regularizada.

A definição dos volumes de alerta no semiárido do Nordeste do Brasil são definidos para cada local seguindo um conjunto de restrições para a operação, quais sejam:

- ✓ O reservatório deve satisfazer a demanda urbana de 18 meses ou 30 meses dependendo se o reservatório de regularização plurianual seja estratégico (grande porte) ou regional (porte médio);
- ✓ O reservatório deve satisfazer a demanda da agricultura de salvação (estipulada em 30% da demanda da cultura perene neste trabalho);
- ✓ Os demais usos (ex. irrigação temporária) terão sua demanda satisfeita após as duas prioridades anteriormente enunciadas;
- ✓ Assume-se como ZERO a vazão afluyente ao reservatório no período de análise, sendo este um cenário de máxima aversão ao risco (pior cenário de vazões já observado para um dado ano).

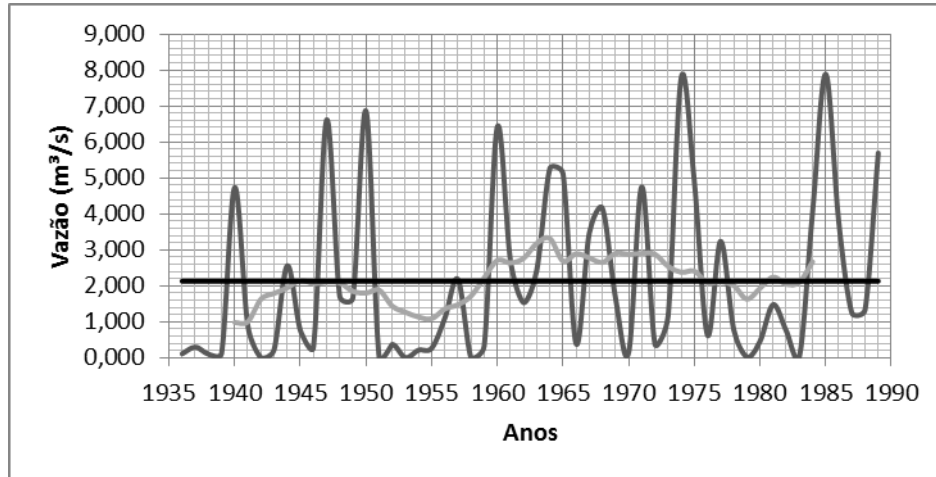
## 4. RESULTADOS

### 4.1. Oferta e demanda hídrica

A oferta hídrica do hidrossistema tem como principal manancial o reservatório Cruzeta que possui uma bacia hidrográfica com área de drenagem de 1.019,9 km<sup>2</sup>. O reservatório em sua construção tinha um volume de 35 milhões de metros cúbicos. Atualmente, ele tem uma capacidade para 23,5 milhões de metros cúbicos.

O reservatório Cruzeta apresenta as aflúncias concentradas nos meses de janeiro a junho com vazão zero a partir desse mês. Ele possui uma vazão média anual afluyente de 2,13 m<sup>3</sup>/s com

coeficiente de variação de 1,08. O comportamento das vazões apresenta uma grande variabilidade temporal com ocorrência de períodos de seca (Figura 2).



**Figura 2.** Vazão média anual afluyente do reservatório de Cruzeta (1935 – 1990) em azul, em preto a vazão média anual e em vermelho a média móvel de 10 anos.

A série de vazões afluentes ao reservatório Cruzeta apresenta uma grande variabilidade de vazões na escala decadal. Observa-se na Figura 2 que a vazão média de 10 anos variou de  $1,0\text{m}^3/\text{s}$  até  $3,2\text{m}^3/\text{s}$ . Esta pronunciada variabilidade concentra as falhas impondo duração de falhas mais significativas. Os períodos críticos mais severos na série são a década de 1950 e a primeira metade da década de 1980.

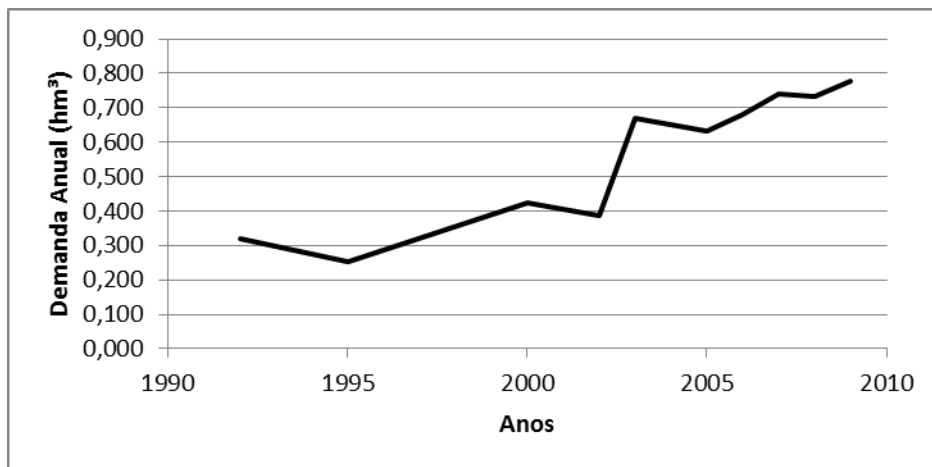
A evaporação anual do município de Cruzeta é de 3.324 mm e o total anual de precipitação de 741mm, características climáticas que tipificam região semiárida.

A demanda anual da cidade de Cruzeta para o período de 1992 a 2010 é mostrada na Figura 3. A cidade demanda um volume anual de  $0,70\text{hm}^3$  que corresponde a uma vazão contínua de 22 L/s. Para o período de junho de 2010, o consumo per capita foi de 225 L/hab.dia. Este valor caracteriza um consumo de água elevado o que pode ser consequência da ausência de hidrometração.

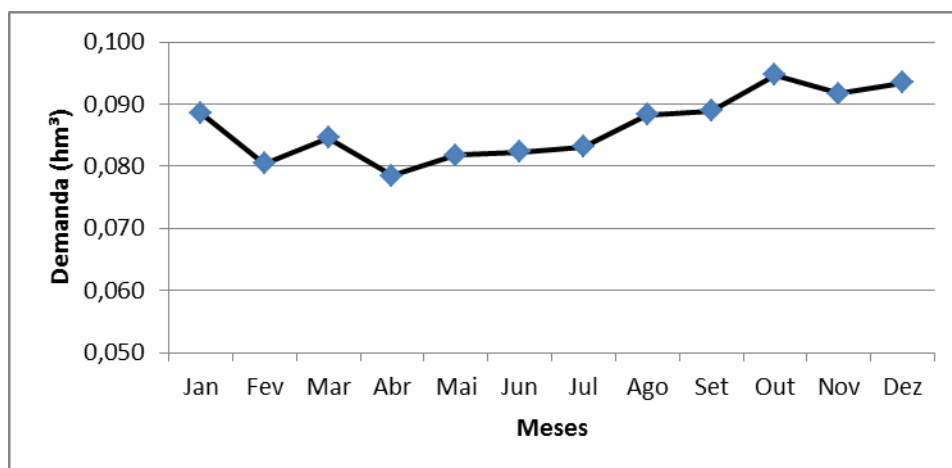
O perímetro de irrigação de Cruzeta possui uma superfície irrigável de 124,1 ha, mas, somente 105 ha estão em produção. A área plantada de cada cultura foi obtida da Rigare (2010). Tendo como base a eficiência de aplicação do sistema de infiltração por sulcos de 40%, o perímetro possui uma demanda hídrica de  $5,72\text{hm}^3/\text{ano}$  para área plantada (105 ha) e de  $6,76\text{hm}^3/\text{ano}$  para área irrigável (124,1 ha). Do total de área plantada, as culturas temporárias (tomate, milho grão, feijão, capim elefante, macaxeira, culturas diversas e sorgo forragem) demandaram  $5,31\text{hm}^3/\text{ano}$  enquanto que a demanda hídrica das culturas perenes (banana, goiaba, acerola, mamão formosa e manga) foi de  $0,41\text{hm}^3/\text{ano}$ .

A agricultura perene necessita de água mesmo em anos muitos secos para manter os cultivares vivos. Sendo esta a irrigação de salvação das culturas perenes em anos secos. A vazão necessária para a salvação deve ter garantia (prioridade) de abastecimento mais elevada. Adota-se neste estudo por suposição que a fração necessária de água para a irrigação de salvação é de 30% da demanda total da cultura perene.

Estimando - se o coeficiente de cultura ( $K_c$ ) médio para culturas forrageiras igual a um (1) calculou-se a demanda hídrica anual da irrigação difusa de  $1,04\text{hm}^3$  que corresponde a uma vazão contínua de 33 L/s. Esta área tem os maiores consumos de água nos meses de outubro, novembro e dezembro (Figura 4).



**Figura 3.** Demanda hídrica do município de Cruzeta no período de 1992 a 2010.



**Figura 4.** Demanda hídrica mensal da Irrigação difusa no município de Cruzeta – RN.

## 4.2. Estratégias de operação do hidrossistema

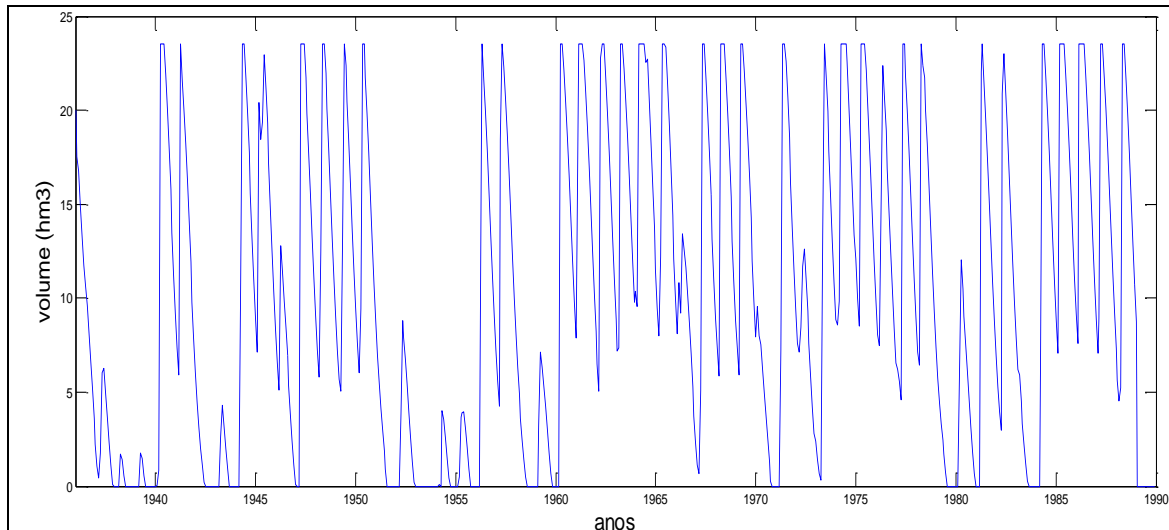
Na estratégia de operação de longo prazo cada retirada esta associada a um número de vezes que o reservatório secará (falha de abastecimento). A frequência relativa de falha (razão do número de falhas observadas pelo total de meses de simulação) é um importante critério de desempenho do sistema. A garantia de abastecimento é o complemento da falha para a unidade (soma das frequências relativas e um).

As evoluções temporais dos volumes do reservatório de Cruzeta obtidas pela simulação da operação do reservatório com esta regra de operação para retiradas iguais a demanda do sistema está apresentada na Figura 5. O período seco crítico mais significativo para o reservatório é o da década de 1950.

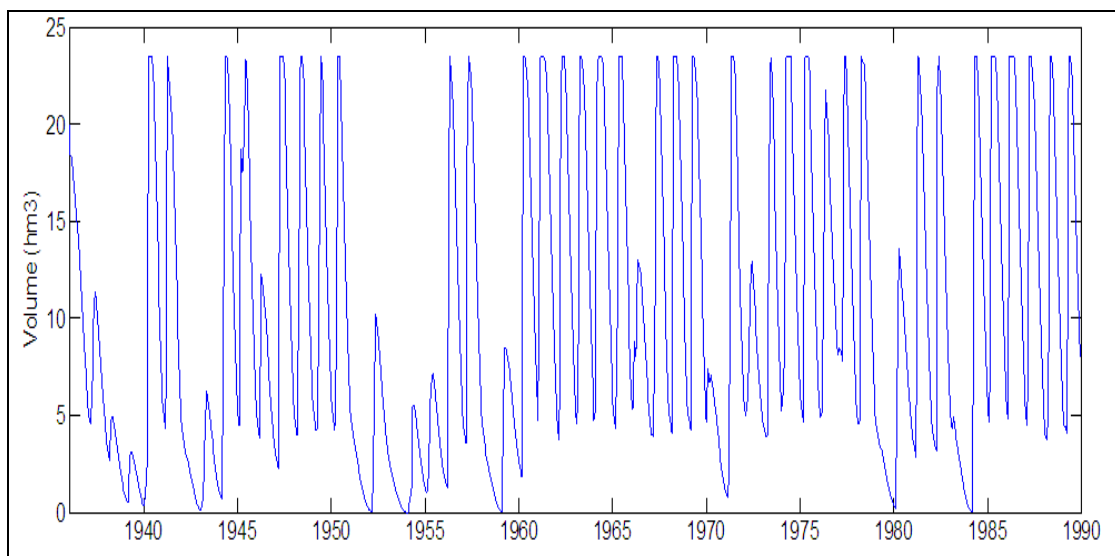
Observa-se que em alguns períodos toda a água do reservatório é utilizada, secando-o. O reservatório chegar a secar, não atendendo a demanda de nenhum usuário, mesmo os mais prioritários, não é frequentemente uma estratégia desejável pelos operadores. Estes optam usualmente por impor níveis de racionamento mais severos e longos para usuários menos prioritários para manter o abastecimento de usos como o abastecimento urbano considerado de alta

prioridade. Este objetivo pode ser incorporado na operação de reservatórios através de salvaguardas na regra de operação realizada através do zoneamento do lago (definição de níveis de alerta).

Com o uso do volume de alerta e operando o hidrossistema no pior estado da natureza, o perímetro de irrigação no estado atual teria longos períodos de falhas na oferta de água.



**Figura 5.** Operação de longo prazo do hidrossistema de Cruzeta



**Figura 6.** Operação do hidrossistema de Cruzeta com salvaguardas.

## 5. CONCLUSÃO

Observou-se que num sistema de múltiplos usos o risco de falha é diferencialmente suportado pela demanda de menor prioridade. Isto limita a oferta de água para essa demanda, a fim de manter a confiança no setor de primeira prioridade.

Uma forma de reduzir esse risco seria incorporar a informação climática na operação dos hidrossistemas. Isto porque com a informação climática é possível antecipar os cenários que poderão ocorrer no futuro e elaborar medidas preventivas contra o risco previsto bem como,

aperfeiçoar a metodologia de operação de reservatórios, reduzindo o arrependimento e aumento os benefícios em comparação ao uso do cenário de vazão zero nessas simulações.

Também sugere-se a utilização de salvaguardas na operação de hidrossistemas as quais tem por finalidade resguardar o abastecimento urbano, tendo que atender essa demanda por 18 meses ou até 30 meses, sendo que a água remanescente que ficará acumulada no reservatório deve ser alocada para a irrigação e os demais usos. Dessa forma, impõem-se níveis de racionamento a fim de que o reservatório não venha a entrar em colapso, uma vez que a região do Seridó, espaço integrante do semiárido do nordeste brasileiro, tem sido afetado por secas severas e recorrentes ao longo da história.

Além disso, operando o sistema com volume de alerta é possível proporcionar uma compatibilização da operação de curto e longo prazo, pois o reservatório passa a ser zoneado com vazões liberadas diferentes. Essa compatibilização contribui para a conservação da água, reduzindo os riscos associados ao processo de alocação. Para tanto, faz-se necessário o desenvolvimento de instrumentos de gestão de risco, tais como seguro, para que sejam projetados sistemas mais resilientes no planejamento das culturas (permanentes e temporárias) irrigadas.

## 6. REFERÊNCIAS

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; SMITH, M. (1998). *Crop Evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 318 p.

DRAPER, A. J.; J. R. LUND. (2004). Optimal hedging and carryover storage value. *J. Water Resour. Plann. Manage.*, n. 130, v. 1, p. 83–87.

IBGE. (2010). *Censo Demográfico 2010*. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/default.shtm>> Acesso em: 19.02.2013.

SILVA, V. P. R. da.; BELO FILHO, A. F.; SILVA, B. B.; CAMPOS, J. H. B. C. (2005). Desenvolvimento de um sistema de estimativa da evapotranspiração de referência. *Rev. Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 9, n. 4, p. 547 – 553.

SERHIDRO. (1998). *Plano Estadual de Recursos Hídricos do Rio Grande do Norte*. Rio Grande do Norte: SERHIDRO/HIDROSERVICE.