

## POTENCIAIS USOS DA ÁGUA VIA REGULARIZAÇÃO DE VAZÕES NO RESERVATÓRIO JOÃO LEITE EM GOIÂNIA, GO

*POTENTIAL WATER USES THROUGH RESERVOIR WATER BALANCE OF JOÃO LEITE RESERVOIR IN  
GOIÂNIA, GO*

**Eliandra Candido Amorin<sup>1</sup>, Alexandre Kepler Soares<sup>2</sup>, Klebber Teodomiro Martins Formiga<sup>3</sup>**  
Universidade Federal de Goiás, Programa de Pós-Graduação em Engenharia do Meio Ambiente, Praça  
Universitária s/n, Setor Universitário, CEP: 74605-220, Goiânia, GO, Brasil

<sup>1</sup>E-mail: elian.dr@hotmail.com

<sup>2</sup>E-mail: aksoares@gmail.com

<sup>3</sup>E-mail: klebber.formiga@gmail.com

### RESUMO

A operação de reservatórios requer uma série de decisões que definem a quantidade de água a ser alocada, ao longo do tempo, para cada um dos usos, e quais os volumes dos reservatórios a serem mantidos visando o atendimento ideal dos usos pré-definidos. Neste contexto, o objetivo geral deste estudo é identificar potenciais usos da água do reservatório João Leite, em Goiânia, GO, por meio de cálculos de regularização de vazões realizados pelo modelo de rede de fluxo AcquaNet. Tal regularização mostra o quanto de água é armazenado no reservatório ao longo do tempo, e se é possível disponibilizar o recurso para outros fins além do abastecimento de água e da manutenção da vazão ecológica. No intuito de estabelecer volumes meta para a operação do reservatório, são calculados volumes de espera para diferentes períodos de retorno e determinados os excedentes de vazão para os períodos chuvosos e de estiagem. Os resultados demonstram que o reservatório praticamente não atende à função de atenuação de cheias, visto que não se pode garantir a disponibilidade de vazão para os volumes de espera calculados. Entretanto, os resultados obtidos, considerando o volume mínimo do reservatório como condição crítica, demonstram que o reservatório pode operar com volumes totais de 50% a 90%, e potenciais usos podem ser alocados além do abastecimento e da vazão ecológica.

**Palavras-chave:** Operação de reservatório, Regularização de vazão, Ribeirão João Leite.

### ABSTRACT

Reservoir operation requires a series of decisions that defines the quantity of water must be allocated over time for each one of the water demands and which volumes should be maintained in order to reach optimum predefined uses. In this context, the aim of the study is to identify potential water demands in the João Leite reservoir, situated in Goiânia, GO, via water balance calculations performed by the network flow model AcquaNet. The simulations show how much water is stored in the reservoir over time and whether is possible or not provide the assessment for other purposes besides both the water supply and the maintenance of the environmental flow. In order to establish target reservoir storage volumes, waiting water volumes are calculated for different return periods and it has been determined the surplus water demands for both wet and dry seasons. The results showed that the João Leite reservoir cannot attenuate floods, since it cannot guarantee the water demands under waiting water volumes. However, numerical results obtained considering minimum water volume as the constrained condition has shown that the reservoir can operate on 50% to 90% of total volume, in which potential water uses can be allocated besides water supply and environmental flow.

**Keywords:** Reservoir operation, Reservoir water balance, João Leite Stream.

### 1 – INTRODUÇÃO

A operação de reservatórios requer decisões que definem a quantidade de água a ser alocada ao longo do tempo para cada um dos usos e quais os volumes dos reservatórios a serem mantidos, visando o atendimento ideal de usos pré-definidos, para que, devido ao caráter de múltiplos usos da água, não haja conflitos entre os diversos usuários (BRAVO, 2010).

Righetto (1998) afirma que a operação de um reservatório deve ser vista dentro de um critério em que se procure otimizar o uso do volume de água disponível de modo a se maximizar o benefício total. Essa otimização consiste em definir regras de operação que sejam

consideradas ótimas e que permitam o uso de modo racional dos recursos hídricos por todos os setores usuários.

De acordo com Labadie (2004), a otimização de um sistema de reservatórios ainda é uma tarefa difícil, especialmente se levar em consideração as tentativas de incorporação das incertezas hidrológicas, pois quando se trata de operação de reservatórios vários problemas de tomada de decisão surgem. E grande parte desses problemas está envolvida por representações matemáticas bastante complexas.

Segundo Yeh (1985), as regras de operação de um reservatório são construídas por modelos de simulação que consideram a operação do sistema de acordo com os

afluxos, as características do sistema e as políticas de operação. Não existe a preocupação de determinar o conjunto de elementos ou regra operativa ótima e sim analisar cenários alternativos via identificação do comportamento do sistema. Cada problema de planejamento e operação de sistemas de recursos hídricos é singular, ficando a escolha do método na dependência das características do sistema considerado, dos dados disponíveis e dos objetivos e restrições especificadas.

Uma técnica que vem sendo bastante empregada na operação de reservatórios é a utilização dos modelos de redes de fluxo, que surgiram a partir das análises das vantagens e desvantagens dos modelos de simulação e otimização. Dentre estes modelos, destaca-se o AcquaNet (PORTO, 2002), uma modificação do modelo MODSIM (LABADIE, 1988), desenvolvido pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, constituído de uma base comum e alguns módulos independentes criados para a execução de tarefas específicas. É um modelo de simulação capaz de efetuar uma série de cálculos mensais e identifica o melhor resultado para cada cenário.

Sendo assim, o objetivo deste estudo foi identificar potenciais usos da água do reservatório do Ribeirão João Leite, localizado a montante da cidade de Goiânia, GO, construído para fornecer água para o abastecimento de grande parte da região metropolitana até o ano de 2025. Cálculos de regularização de vazões foram realizados pelo modelo de rede de fluxo AcquaNet. A partir das simulações foi possível verificar o quanto de água está sendo armazenada no reservatório, bem como suas sobras, e se é possível disponibilizar tais sobras para outros fins além do abastecimento e manutenção da vazão ecológica. Ressalta-se que não há estudos para a previsão de alocação de água do reservatório para outros usos tais como irrigação, recreação, geração de energia elétrica, ou mesmo para assegurar o abastecimento de água e a vazão mínima de jusante em períodos de extrema estiagem.

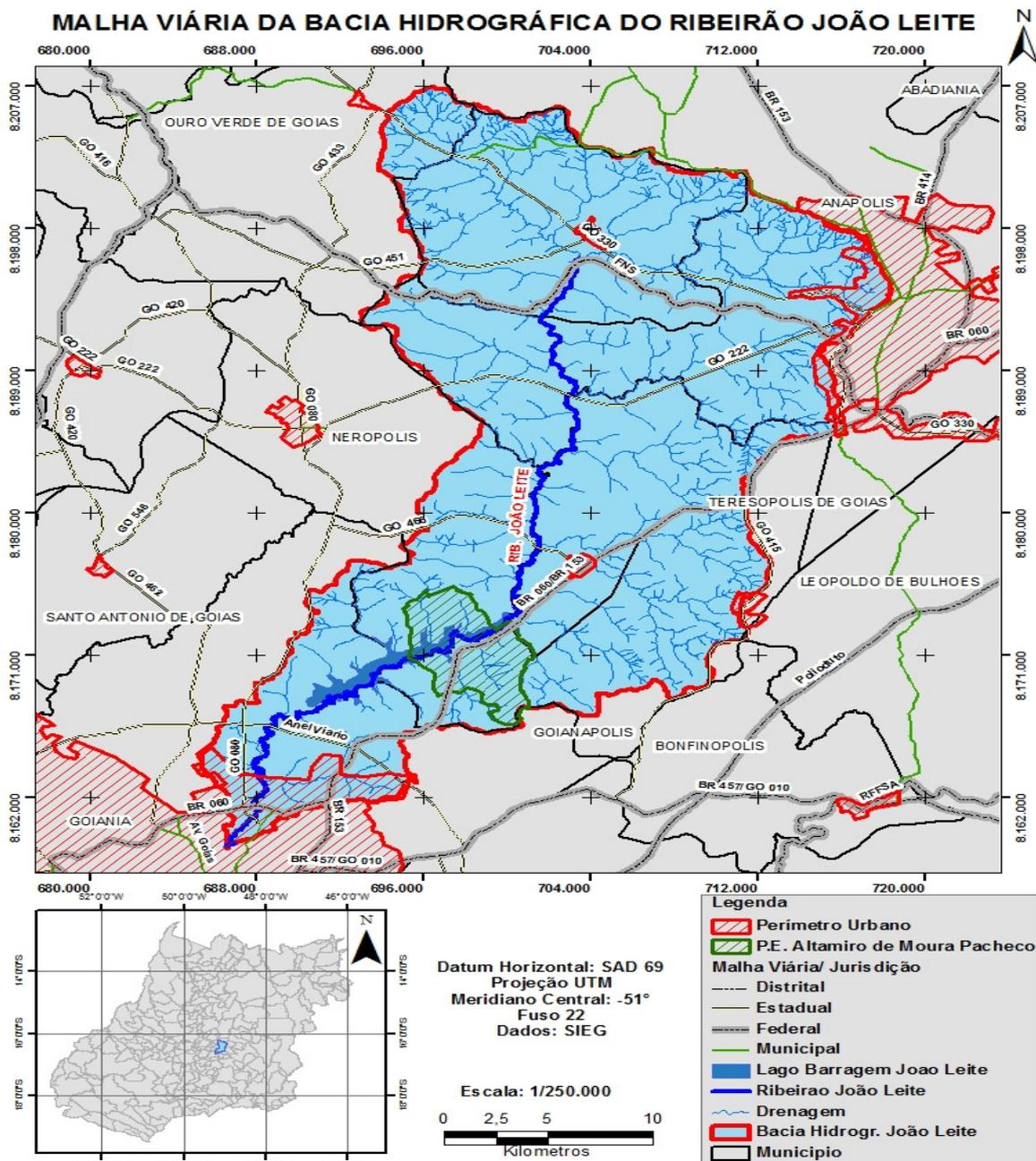
## 2 – ÁREA DE ESTUDO

O Ribeirão João Leite tem sua nascente na Serra do Sapato Arcado, localizada no município de Ouro Verde de Goiás. Após percorrer um trecho de 85 km, o Ribeirão João Leite deságua no Rio Meia Ponte, que, por sua vez, se estende por mais 415 km até chegar a sua foz no rio Paranaíba. A bacia do Ribeirão João Leite drena uma área estimada em 774 km<sup>2</sup>, integrando parte dos municípios de Anápolis, Nerópolis, Goianápolis, Ouro Verde de Goiás e Goiânia, e a totalidade dos municípios de Teresópolis de Goiás e Campo Limpo de Goiás, conforme Figura 1. A região da bacia apresenta o maior índice de área verde do Estado de Goiás devido à presença do Parque Estadual Altamiro de Moura Pacheco e da Área de Preservação Ambiental do João Leite, abrigando uma população de 54 mil habitantes (SEMARH, 2003), tornando a bacia uma das áreas mais ricas em biodiversidade de todo o Estado de Goiás.

A barragem do Ribeirão João Leite está localizada à montante da cidade de Goiânia, junto ao morro do Bálamo e possui vertedor livre central de 50 m de soleira (Figura 2). Atualmente, regulariza uma vazão de 6,23 m<sup>3</sup>/s, com a vazão média para abastecimento de 5,33 m<sup>3</sup>/s e a vazão para diluição de esgotos no rio Meia Ponte de 0,9 m<sup>3</sup>/s.

O volume total do reservatório é de 129 hm<sup>3</sup>, sendo o volume útil de 117 hm<sup>3</sup> e o volume morto de 12 hm<sup>3</sup>. O reservatório apresenta conformação alongada com extensão de 15 km e largura média em torno de 800 m. Até o ano de 2025, a barragem deverá atender aproximadamente 2.300.000 habitantes ou 98% da população estimada para a data (SANEAGO, 2011). Além do sistema João Leite, a região conta com uma captação no Rio Meia Ponte, cujo sistema de macrodistribuição deverá ser interligado ao sistema João Leite, e poços.

Figura 1 – Bacia Hidrográfica do Ribeirão João Leite



Fonte: Oliveira *et al.* (2011)

A relação cota-área-volume do reservatório aponta a cota topográfica de 749 m como a cota do nível máximo normal, a área de 10,4 km<sup>2</sup> como a área inundada com o volume máximo do reservatório de 129 hm<sup>3</sup>. A cota topográfica de 725 m apresenta o nível de água mínimo para operacionalização da barragem, com uma área de 1,64 km<sup>2</sup> cujo volume é de 12 hm<sup>3</sup> (Tabela 1).

Figura 2 – Barragem do Ribeirão João Leite



Fonte: Pereira (2011)

Tabela 1 – Cota, área e volume do Reservatório João Leite

Cota (m)	Área (km <sup>2</sup> )	Volume (hm <sup>3</sup> )
725,00	1,64	12,00
730,00	2,44	22,00
735,00	3,70	37,00
740,00	5,57	60,00
745,00	7,84	93,00
746,00	8,40	101,00
747,00	8,94	110,00
748,00	9,60	119,00
749,00	10,40	129,00

Fonte: SANEAGO (1998)

### 3 – METODOLOGIA

Para as simulações de regularização de vazões por meio do modelo AcquaNet, foi necessária a introdução dos dados de entrada tais como a vazão afluente mensal, a taxa de evaporação média mensal, volumes meta, prioridades de atendimento das demandas (abastecimento, vazão ecológica e volume meta), bem como as características do reservatório (volumes máximo e mínimo, curva cota-área-volume) e as respectivas demandas de abastecimento e ecológica (0,9 m<sup>3</sup>/s).

A vazão afluente mensal foi obtida por meio do Sistema de Informações Hidrológicas da Agência Nacional de Águas (ANA), no posto Captação do João Leite com código 60642000, compreendendo uma série de vazões de 33 anos, de janeiro de 1975 até dezembro de 2007.

A Tabela 2 ilustra as taxas médias mensais de evaporação para a região obtidos a partir de dados de evaporação em tanque classe A monitorados pela Escola de Agronomia da Universidade Federal de Goiás de janeiro de 1993 a junho de 2012. As médias mensais apresentadas já foram corrigidas pelo fator 0,7 para os cálculos de regularização de vazão.

Tabela 2 – Taxa de evaporação média mensal

Mês	Evaporação (mm)
jan	115
fev	102
mar	105
abr	105
maio	92
jun	90
jul	108
ago	135
set	141
out	132
nov	109
dez	106

#### 3.1 Volume meta

Na operação de um reservatório, costumam ser utilizadas referências de nível de água (ou volume) que devem ser seguidas para atingir certos objetivos de geração de energia e de segurança da barragem. O volume meta é tal que se o volume do reservatório é superior ao volume meta, deve ser aumentado o vertimento de vazão, para reduzir o nível da água no reservatório, que deverá retornar ao volume meta.

A definição dos volumes meta foi alcançada via cálculos dos volumes de espera no reservatório para cheias com períodos de retorno de 5, 10 e 20 anos. O método das trajetórias críticas é utilizado (RAUPP, 2010), no qual o volume de espera é calculado a partir do final da estação chuvosa:

$$VE(t-1,s) = \text{máx}[0, (\Delta Q \times \Delta t) + VE(t,s)] \quad (1)$$

para  $t = T, \dots, 1$

$$\Delta Q = Q_{AFL}(t-1,s) - Q_R \quad (2)$$

Em que  $VE(t,s)$  é o volume de espera para o final do  $t$ -ésimo dia da  $s$ -ésima estação chuvosa,  $T$  o último dia da estação chuvosa,  $Q_{AFL}(t-1,s)$  a vazão média diária afluente do  $(t-1)$ -ésimo dia da  $s$ -ésima estação chuvosa,  $Q_R$  a vazão de restrição para liberação a jusante,  $\Delta t$  o número de segundos em um dia. Para início dos cálculos, ou seja, no final da estação chuvosa, o volume de espera é  $VE(T,s) = 0$ .

Para calcular a vazão afluente média diária ( $Q_{AFL}$ ), com tempos de retorno de 5, 10 e 20 anos, foi utilizada a distribuição de Gumbel aplicada à série de vazões de 33 anos, contados de janeiro de 1975 até dezembro de 2007. A estação chuvosa foi definida entre os meses de novembro a abril.

A vazão de restrição ( $Q_R$ ) também foi calculada usando a distribuição de Gumbel com os tempos de retorno de 2, 5 e 10 anos para todos os meses do período chuvoso. Os valores encontrados para essas vazões foram de 13,2 m<sup>3</sup>/s, 19,7 m<sup>3</sup>/s e 24 m<sup>3</sup>/s para períodos de retorno de 2, 5 e 10 anos, respectivamente. A vazão de restrição é estabelecida para garantir que a vazão máxima liberada a jusante do reservatório não extrapole a calha do leito do Ribeirão João Leite a fim de evitar grandes danos à jusante da barragem.

#### 3.2 Otimização via estabelecimento do volume mínimo

Como última parte da metodologia, foram realizadas regularizações de vazões utilizando a ferramenta Solver, do MS Excel. Inicialmente, foi feita a regularização com a série de vazões de 33 anos, datando de 1975 até 2007, referente ao posto Captação do João Leite. Em seguida, nova regularização foi feita utilizando a média mensal das vazões naturais para verificar o quanto é possível regularizar utilizando 70%, 80% e 90% do volume útil do reservatório. Os valores usados para a vazão afluente média mensal são apresentados conforme a Tabela 3. Além destas verificações, estudou-se a possibilidade de um cenário que apresentasse uma situação de seca forte, onde os valores utilizados são resultados da divisão da média mensal menos o desvio padrão das médias mensais das vazões naturais do Ribeirão João Leite. Para esta situação, as regularizações foram feitas considerando as faixas de 50%, 60%, 70%, 80% e 90% dos volumes úteis no reservatório.

Tabela 3 – Média mensal das vazões naturais afluentes ao reservatório

Mês	Média mensal (m <sup>3</sup> /s)
jan	14,81
fev	16,45
mar	17,22
abr	14,66
maio	10,00
jun	7,60
jul	6,18
ago	5,03
set	5,36
out	6,79
nov	9,97
dez	13,43

#### 4 – RESULTADOS E DISCUSSÕES

As análises de regularização de vazão no reservatório João Leite são descritas a seguir. Foram definidos cenários de avaliação via emprego do método das Trajetórias Críticas. Tais cenários foram, então, avaliados via *software* AcquaNet.

##### 4.1 Definição dos cenários

A utilização do método das trajetórias críticas para diferentes períodos de retorno, tanto para as vazões afluentes quanto para as vazões de restrição, geraram curvas de volumes de espera para os períodos chuvosos. Em alguns casos, os volumes de espera gerados resultaram negativos ou mesmo muito baixos (5%, 10%), o que, na realidade, são impraticáveis na operação do reservatório. Sendo assim, foram adotados os volumes de espera viáveis para a operação do reservatório. Tais volumes de espera (VE), subtraídos do volume útil (VU), geram os volumes meta (VM) utilizados no AcquaNet, ilustrados nas Tabelas 4 a 6, e definidos como Cenários 1, 2 e 3, respectivamente.

Tabela 4 – Cenário 1

Mês	VM = VU - VE (%)
nov	94,270
dez	87,008
jan	85,810
fev	89,189
mar	94,355
abr	99,748

Tabela 5 – Cenário 2

Mês	VM = VU - VE (%)
nov	100
dez	100
jan	100
fev	100
mar	100
abr	100

Tabela 6 – Cenário 3

Mês	VM = VU - VE (%)
ago	96,974
set	76,554
out	55,933
nov	44,550
dez	45,760
jan	53,913
fev	67,008
mar	81,832
abr	96,624

##### 4.2 Regularização de vazão no reservatório

Para a regularização de vazões no reservatório do Ribeirão do João Leite no AcquaNet foi utilizado somente o módulo de alocação de água. A regularização foi realizada utilizando os cenários ilustrados nas Tabelas 4, 5 e 6. Cada cenário simulado gerou três novos subcenários devido o fato de que foi atribuído para cada demanda um valor como prioridade que varia entre 1 (maior prioridade) e 99 (menor prioridade). A Tabela 7 apresenta os valores definidos como prioridades para cada uma das demandas nas simulações.

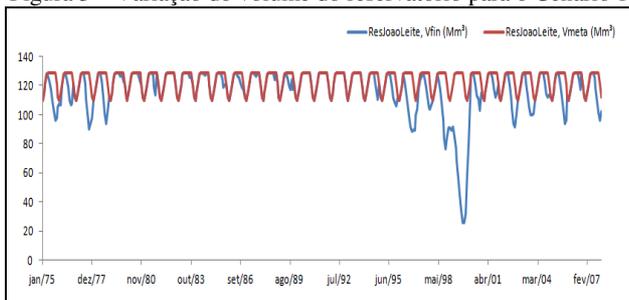
Tabela 7 – Prioridades utilizadas no AcquaNet

Demanda	Simulação 1	Simulação 2	Simulação 3
Abastecimento	1	2	1
Vazão ecológica	1	1	2
Volume meta	99	99	99

##### 4.2.1 Cenário 1

Os resultados indicaram que o reservatório ficou operando por um intervalo de tempo abaixo do volume meta (ver Figura 3). Em todas as condições de prioridades (Tabela 7), os resultados obtidos foram idênticos, ou seja, todas as demandas foram atendidas e não houve déficits tanto no abastecimento de água quanto na vazão ecológica. O volume meta inicial para janeiro de 1975 foi de 109,650 hm<sup>3</sup>, que representa 85% do volume total, e o volume final, de 102,020 hm<sup>3</sup>, representa 87% do volume para o mês de dezembro no final da simulação, conforme a Figura 3. São 23 meses operando abaixo do volume meta, o que representa uma frequência de 40% abaixo do tempo total simulado. O tempo operando abaixo do volume meta pode ser visualizado detalhadamente a partir do mês de agosto de 1998, quando o reservatório começa a diminuir o volume de água até chegar ao total de 25,470 hm<sup>3</sup> em novembro de 1999. Em dezembro de 2007, a simulação é encerrada com um volume final de 102,020 hm<sup>3</sup> e o volume meta fica na faixa de 87%, em torno de 112 hm<sup>3</sup> do volume inicial, conforme foi determinado pelo VE para o período.

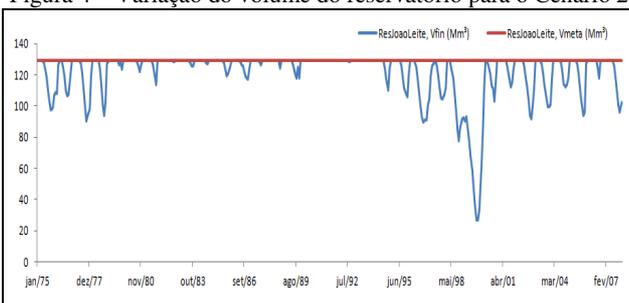
Figura 3 – Variação do volume do reservatório para o Cenário 1



#### 4.2.2 Cenário 2

O período mais crítico para o reservatório concentra-se entre os anos de 1997 e 1999 quando o volume final baixa bastante e chega perto de 25 hm<sup>3</sup>. Nos demais meses simulados, esse volume não ultrapassa o valor mínimo de 90 hm<sup>3</sup>, conforme Figura 4. Os resultados obtidos foram idênticos para todas as condições de prioridade (Tabela 7). Durante o período simulado, o reservatório ficou 23 meses operando abaixo do volume meta com frequência de 43% abaixo do tempo simulado e também não apresentou déficits quanto ao atendimento das demandas de abastecimento e vazão ecológica.

Figura 4 – Variação do volume do reservatório para o Cenário 2

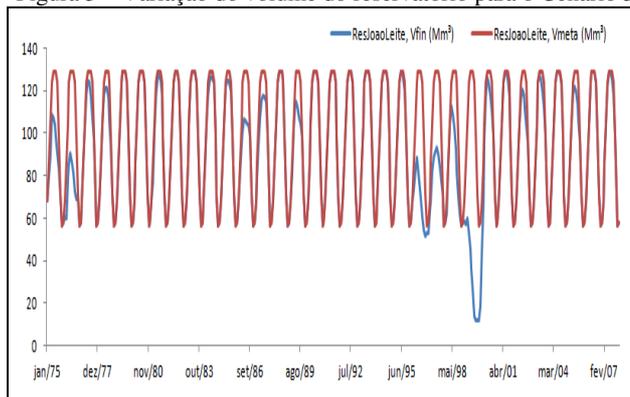


#### 4.2.3 Cenário 3

O Cenário 3 é o mais restritivo quanto aos volumes meta, ou seja, considera que o reservatório deve ter capacidade de atenuar uma cheia de grandes proporções. Assim, ele opera com média de apenas 50% do volume disponível para o atendimento das demandas.

Em todos os conjuntos de prioridade (Tabela 7), a simulação inicia com um volume de 68 hm<sup>3</sup> e finaliza com um volume de 58 hm<sup>3</sup>. Assim, e de acordo com esta situação, os resultados mostraram que o reservatório esteve operando abaixo do VM durante um intervalo de 22 meses. A frequência do tempo operando abaixo do volume meta representou 37% do tempo simulado, conforme Figura 5. Além do tempo operando abaixo do VM, o reservatório atingiu o volume mínimo durante os meses de setembro, outubro e novembro de 1999. Em dezembro do mesmo ano, o reservatório passou a operar um pouco acima do volume mínimo (18 hm<sup>3</sup>), mas ainda numa operação considerada de risco.

Figura 5 – Variação do volume do reservatório para o Cenário 3



Para a situação em que todas as demandas tiveram prioridade máxima, e com relação ao tempo máximo abaixo da demanda necessária, o tempo foi de 2 meses para o abastecimento e de 3 meses para a vazão ecológica. O volume acumulado dos déficits foi de 11,353 hm<sup>3</sup> para a primeira demanda e de 5,177 hm<sup>3</sup> para a segunda, conforme a Figura 6.

Para o caso de prioridades diferentes, com a vazão ecológica com prioridade 1 e abastecimento com prioridade 2, os déficits ocorrem apenas para a demanda de abastecimento, não havendo déficits registrados para a vazão ecológica, conforme Figura 7.

Invertendo-se as prioridades, ou seja, com abastecimento tendo prioridade 1 e vazão ecológica tendo prioridade 2, os resultados obtidos são iguais aos encontrados na Figura 6. Neste caso, há déficits para as duas demandas.

Sendo assim, e considerando que em todos os cenários o reservatório João Leite não consegue regularizar as demandas ao mesmo tempo em que atende aos volumes de espera, o reservatório não possui função de atenuação de cheias.

Figura 6 – Resumo das demandas para prioridade máxima para abastecimento e vazão ecológica

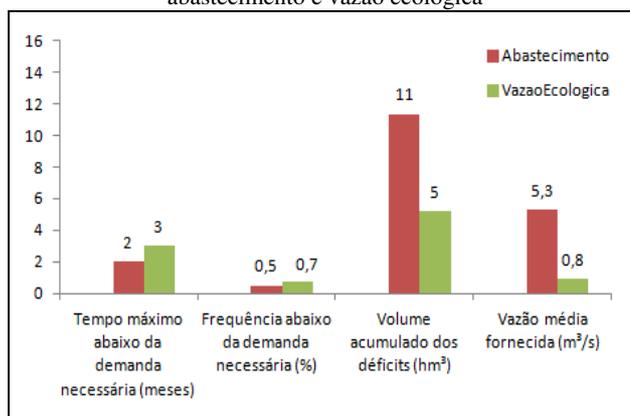
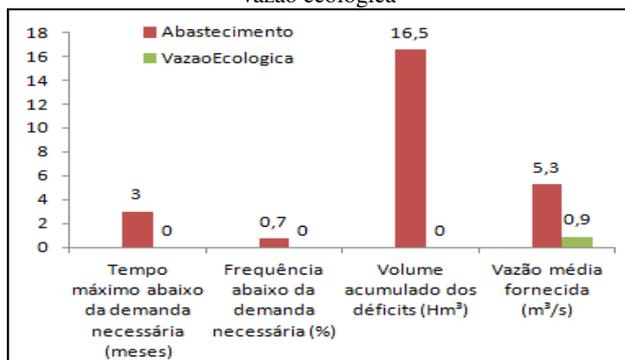


Figura 7 – Resumo das demandas para prioridade máxima para a vazão ecológica



### 4.3 Outros usos

Visando o estudo de potenciais usos da água além do abastecimento e da vazão ecológica, foram estabelecidas as vazões afluentes médias mensais no reservatório. Para o caso em que o volume do reservatório pode atingir 70% de seu volume útil, a variação do volume do reservatório pode ser observada na Figura 8. A demanda possível de ser regularizada é de 8,74 m<sup>3</sup>/s. Como o volume do reservatório não pode descer mais do que 90,3 hm<sup>3</sup> e oscilará entre este valor e o volume máximo, o reservatório permanece numa certa estabilidade e não deixará de atender as demandas.

Em relação às vazões afluentes e efluentes do reservatório ilustradas na Figura 9, as entradas são superiores às saídas na maior parte do tempo. Para os meses de agosto, a menor vazão afluente para o período é de 13 m<sup>3</sup>/s com uma vazão efluente correspondente a 22 m<sup>3</sup>/s. Contudo, o volume disponível é de 117 hm<sup>3</sup>. As vazões que entram compensam as saídas de todas as demandas e ainda é registrada uma pequena folga para ser armazenada como vazão excedente em alguns meses, o que pode explicar a falta de déficits registrados.

Figura 8 – Volume do reservatório para volume mínimo admissível de 70% do volume útil

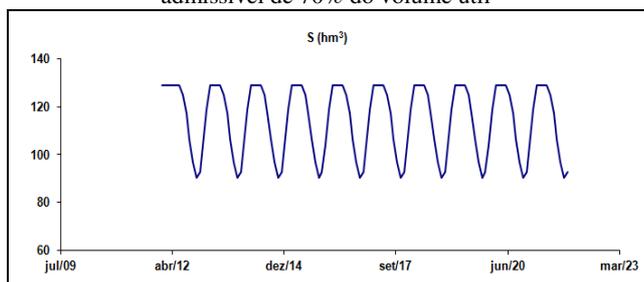
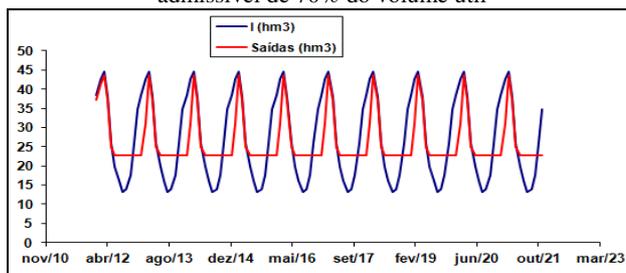
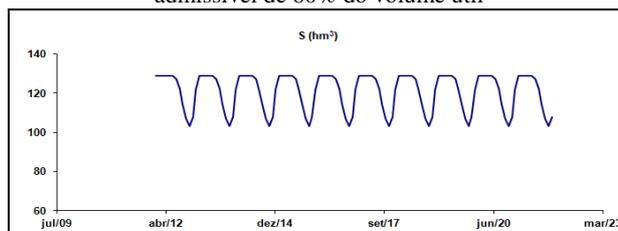


Figura 9 – Volumes de entradas e saída para volume mínimo admissível de 70% do volume útil



Para uma regularização com 80% de volume útil mínimo, a demanda regularizada é de 7,73 m<sup>3</sup>/s. O volume mínimo a que o reservatório pode chegar é 103 hm<sup>3</sup>. Com 80%, o reservatório opera na cota 745 m, bem próximo à cota máxima normal de 749 m e sua área é equivalente a 8,5 km<sup>2</sup>. A Figura 10 ilustra que não há grande variação para o volume, estando, portanto mais estabilizado frente a riscos de atingir volumes menores. A Figura 11 ilustra a relação entre as saídas e entradas no reservatório João Leite.

Figura 10 – Volume do reservatório para volume mínimo admissível de 80% do volume útil



Para a regularização com mínimo de 90% do volume útil do reservatório, ou 116 hm<sup>3</sup>, possibilita fornecer 6,62 m<sup>3</sup>/s de vazão regularizada. Tal valor está bem próximo da demanda regularizada atual de 6,23 m<sup>3</sup>/s. a variação do volume do reservatório é ilustrada na Figura 12. Concernente às entradas e saídas, os valores de entrada estão sempre próximos às saídas (Figura 13). Regularizando uma demanda menor, o período em que o reservatório ficou sem registrar vazões excedentes diminuiu.

Figura 11 – Volumes de entradas e saída para volume mínimo admissível de 80% do volume útil

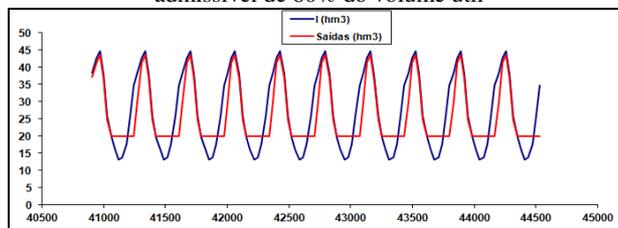


Figura 12 – Volume do reservatório para volume mínimo admissível de 90% do volume útil

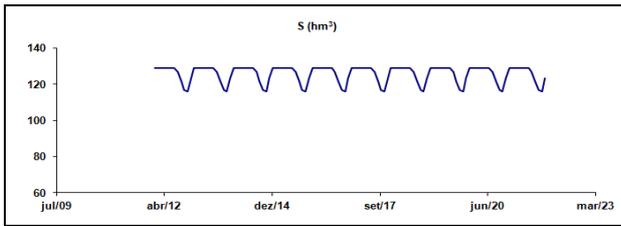
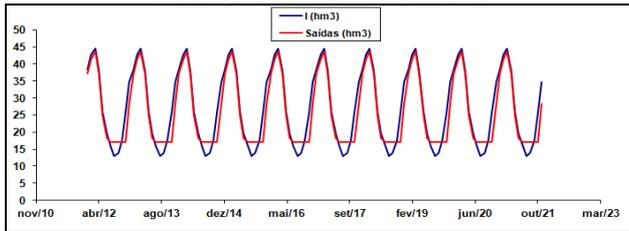


Figura 13 – Volumes de entradas e saída para volume mínimo admissível de 90% do volume útil



A Tabela 8 apresenta o resumo das regularizações com os usos potenciais apresentados considerando a média mensal das vazões naturais do reservatório.

Volume mínimo (%)	Vazão regularizada (m³/s)	Uso potencial (m³/s)
90	6,62	0,39
80	7,73	1,50
70	8,74	2,51

#### 4.3.1 Situação de seca

Neste caso, foi considerado que as vazões afluentes fossem limitadas devido a um evento de seca forte, ou seja, as médias mensais calculadas sofrem uma redução de dois desvios padrões para menos. Assim, foram avaliados os volumes mínimos do reservatório para a regularização de vazões.

Inicialmente, foi realizada a regularização de vazão considerando que o volume mínimo admissível seja de 50% do volume útil do reservatório, o que resultou numa vazão de 8,84 m³/s. O volume varia repetidamente ao longo do tempo, alternando entre o volume máximo (129 hm³), o mínimo (64,5 hm³) determinado e um volume intermediário (112,1 hm³) e vai ao mínimo novamente, conforme Figura 14. A Figura 15 reúne os volumes de entrada e saída mensais no reservatório. As saídas se apresentam sempre com valores constantes, chegando a serem mais que o dobro das entradas.

Figura 14 – Volume do reservatório para volume mínimo admissível de 50% do volume útil – seca

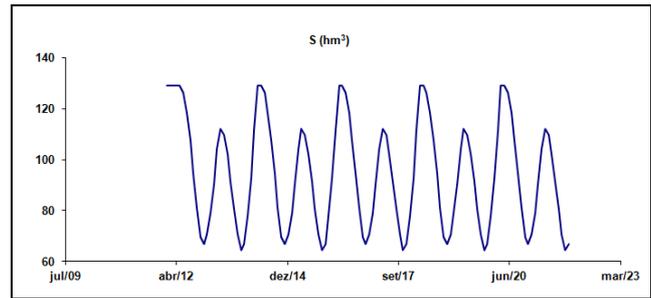
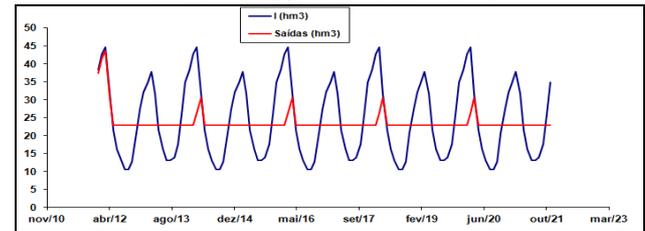


Figura 15 – Volumes de entradas e saída para volume mínimo admissível de 50% do volume útil – seca



Quando a estratégia de operação é a de regularizar uma vazão para volume mínimo de 60% (77,4 hm³), o máximo que se consegue obter é uma vazão de 8,24 m³/s. A variação do volume do reservatório é apresentada na Figura 16, e as vazões de entrada e saída na Figura 17.

Figura 16 – Volume do reservatório para volume mínimo admissível de 60% do volume útil – seca

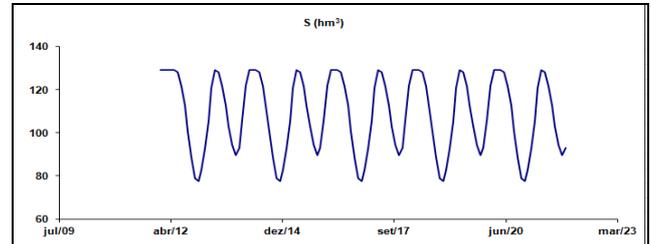
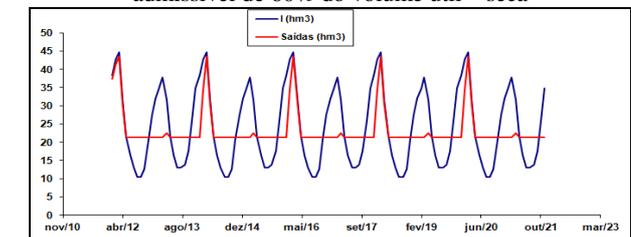


Figura 17 – Volumes de entradas e saída para volume mínimo admissível de 60% do volume útil – seca



De acordo com os resultados obtidos via regularização, é possível fornecer 7,41 m³/s utilizando até 70% do volume útil. Essa porcentagem corresponde a 90,3 hm³ que ocupa uma área de 7,5 km², e uma cota de 744 m. A variação do volume do reservatório é ilustrada na Figura 18 e as vazões de entrada e saída na Figura 19.

Figura 18 – Volume do reservatório para volume mínimo admissível de 70% do volume útil – seca

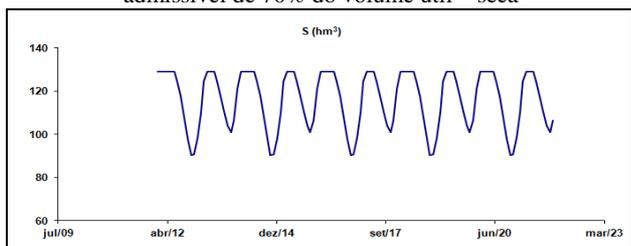
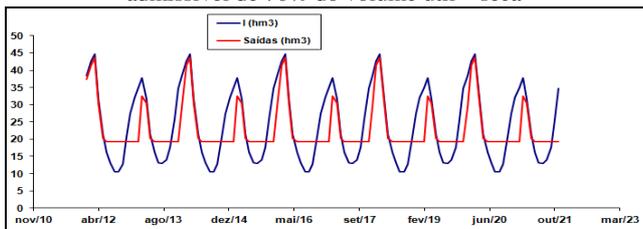


Figura 19 – Volumes de entradas e saída para volume mínimo admissível de 70% do volume útil – seca



Para uma regularização com um volume mínimo de 103,2 hm<sup>3</sup> (80%), é possível atender uma demanda de 6,4 m<sup>3</sup>/s. A variação do volume do reservatório é ilustrada na Figura 20 e as vazões de entrada e saída na Figura 21.

Para a situação de volume mínimo admissível de 90% do volume útil do reservatório num cenário de seca, significa regularizar uma vazão de 5,29 m<sup>3</sup>/s (Figura 22). Considerando o estado atual do reservatório do João Leite, este cenário é insustentável, tendo em vista que apenas a demanda para o abastecimento já é maior que a demanda regularizada neste cenário. O que se vê entre as entradas e saídas é que estes valores estão cada vez mais próximos, ou seja, tendem a se igualar nos períodos úmidos, mas os déficits devem ocorrer nos períodos de estiagem (Figura 23).

Figura 20 – Volume do reservatório para volume mínimo admissível de 80% do volume útil – seca

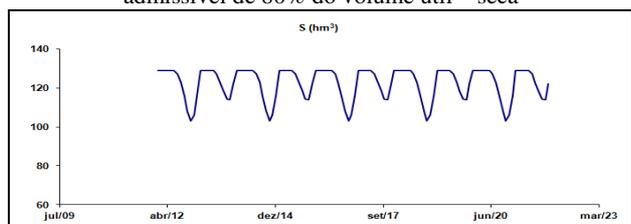


Figura 21 – Volumes de entradas e saída para volume mínimo admissível de 80% do volume útil – seca

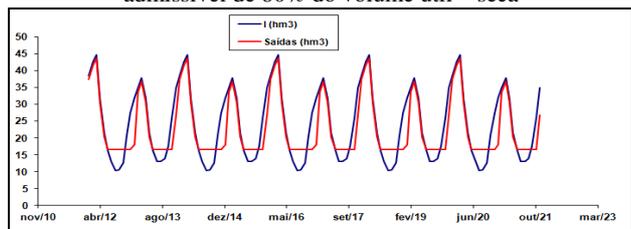


Figura 22 – Volume do reservatório para volume mínimo admissível de 90% do volume útil – seca

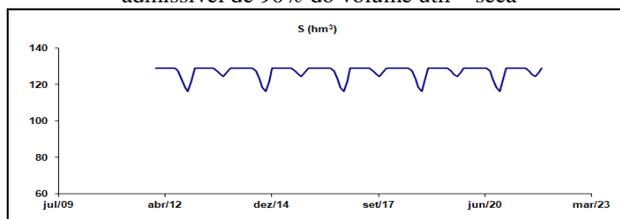
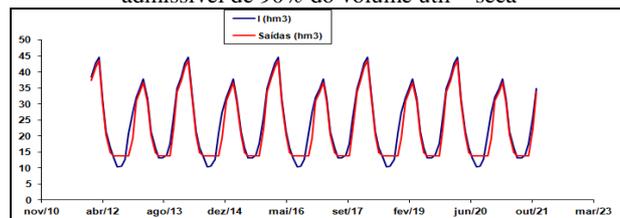


Figura 23 – Volumes de entradas e saída para volume mínimo admissível de 90% do volume útil – seca



Os resultados obtidos foram organizados na Tabela 9, que reúne as vazões regularizadas e os potenciais usos (excedentes ou não) determinados para cada situação de seca extrema.

Tabela 9 – Usos potenciais para a condição de seca

Volume mínimo (%)	Vazão regularizada (m <sup>3</sup> /s)	Uso potencial (m <sup>3</sup> /s)
90	5,29	-0,94
80	6,40	0,17
70	7,41	1,18
60	8,24	2,01
50	8,84	2,61

## 5 – CONCLUSÕES

Os resultados obtidos nas simulações no modelo AcquaNet permitem concluir que o reservatório não possui capacidade para controle de cheias durante o período chuvoso, pois os volumes meta não foram atendidos e, quando foram, resultaram em déficits para as vazões de abastecimento. Assim, pode haver comprometimento dos usuários de jusante da barragem, ou seja, o Ribeirão João Leite pode extravasar a calha do curso de água e provocar manchas de inundação. Além disso, potenciais usos adicionais de água, ou mesmo uma segurança extra na operação, não podem ser atendidos, caso os volumes meta sejam estabelecidos em função dos volumes de espera.

Os resultados da otimização considerando o volume mínimo do reservatório como condição crítica, e não mais volumes de espera, mostraram que o reservatório poderia operar com volumes totais de 50% a 90%, e potenciais usos podem ser verificados. Tais usos podem ser destinados à irrigação, recreação, geração de energia elétrica, ou mesmo para assegurar o abastecimento de água e a vazão mínima de jusante em períodos de extrema estiagem.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela bolsa concedida ao primeiro autor, à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás (FAPEG), pelo auxílio financeiro concedido ao projeto “Avaliação da Qualidade Ambiental da Bacia Hidrográfica e do Reservatório do Ribeirão João Leite”, e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo auxílio financeiro concedido ao projeto “Análise e Controle de Sistemas de Distribuição de Água via Modelagem Computacional”, como parte do Edital MCT/CNPq 14/2010 – Universal.

## REFERÊNCIAS

BRAVO, J. M. **Subsídios à operação de reservatórios baseada na previsão de variáveis hidrológicas**. 2010. 226f. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

LABADIE, J. W. **Program MODSIM, river basin network flow model for the microcomputer**. Department of Civil Engineering, Colorado State University, 1988.

LABADIE, J.W. Optimal operation of multireservoir systems: state-of-the-art review. **Journal of Water Resources Planning and Management**, v. 130, n. 2, p. 93-111, 2004. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9496\(2004\)130:2\(93\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9496(2004)130:2(93)).

OLIVEIRA, W. N.; CARVALHO, M. A.; ROCHA, J. C. S.; FERREIRA, N. C. Análise da Paisagem da Bacia Hidrográfica do Ribeirão João Leite Utilizando Geoprocessamento. **Geotecnologias e Interdisciplinaridade**. Feira de Santana, BA, 2011.

PEREIRA, S. **Barragem João Leite**. Disponível em: <<http://sebastiansp.blogspot.com.br/2011/02/barragem-joao-leite.html>>. Acesso em: 10 jun. 2012.

PORTO, R. L. L. **AcquaNet – Alocação da água em sistemas complexos de recursos hídricos. Manual do usuário**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Laboratório de Sistemas de Suporte a Decisão, 2002.

RAUPP, I. P. Minimização do Conflito Entre a Geração de Energia Elétrica e o Controle de Cheias no Planejamento da Operação de Reservatórios I: Teoria. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 15, n. 2, p. 69-79, 2010. <https://doi.org/10.21168/rbrh.v15n2.p69-79>. <https://doi.org/10.21168/rbrh.v15n2.p81-91>.

RIGHETTO, A. M.; GUIMARAES JUNIOR, J. A.; MATTOS, A. Indução de Sinergia Hídrica no Reservatório Armando Ribeiro Gonçalves, RN. In: **Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste**, Natal, RN, 2000.

SANEAGO. **Projeto de ampliação do sistema produtor de água de Goiânia e áreas conurbadas – sistema João Leite**. Disponível em: <<http://www.saneago.com.br/>>. Acesso em: 19 abr. 2011.

SANEAGO. **Projeto executivo do sistema produtor de água bruta de Goiânia e áreas conurbadas. Barragem Ribeirão João Leite**. v. 1. Consórcio Estática – Interplan. Goiânia, GO, 1998.

SEMARH – **Secretaria Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos**. Área de Proteção Ambiental – APA João Leite. Goiânia, 2003.

YEH, W. Reservoir Management and Operation Models: a State-of-the-Art Review. **Water Resources Research**, v. 21, n. 12, p. 1797-1818, 1985. <https://doi.org/10.1029/WR021i012p01797>.