

# CONCEPÇÃO HÍDRICA DO SISTEMA DE RESERVATÓRIOS COREMAS-MÃE D'ÁGUA E SUA INFLUÊNCIA SOBRE A VAZÃO REGULARIZÁVEL

THE WATER MANAGEMENT CONCEPTIONS OF COREMAS-MÃE D'ÁGUA INTEGRATED RESERVOIRS SYSTEM AND THEIR INFLUENCE ON ITS REGULATED FLOW

Cícero Aurélio G. Lima<sup>1</sup>, Wilson F. Curi<sup>2</sup>, Rosires C. Curi<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Doutor em Recursos Naturais - consultor da Agência Extraordinária para Gestão das Águas da Paraíba – Rua Cassimiro de Abreu, 250/Apto. 808. João Pessoa – PB – Brasil. e-mail: cíceroglima@hotmail.com

<sup>2</sup> Prof. Associado da Unidade Acadêmica de Física - UAF/CTR/UFCEG – Rua Aprígio Veloso 882 – Bodocongó - Campina Grande – PB – Brasil. e-mail: wfcuri@pesquisador.cnpq.br

<sup>3</sup> Profª Associada da Unidade Acadêmica de Eng. Civil, UAEC/CTR/UFCEG, Rua Aprígio Veloso 882 – Bodocongó – Campina Grande – PB - Brasil. e-mail: rosirescurii@pesquisador.cnpq.br

## RESUMO

O gerenciamento de recursos hídricos para alocação de água para atendimento aos diversos usos em bacias complexas não é tarefa fácil. Verifica-se na prática o uso do conceito de vazão regularizável como parâmetro para planejamento de uso das disponibilidades hídricas para as diversas finalidades. Com o objetivo de analisar as disponibilidades hídricas da principal reserva hídrica do Estado da Paraíba, o sistema Coremas-Mãe D'água, foi estudado o comportamento hídrico do mesmo para duas concepções hídricas. Na primeira, bastante utilizada, o sistema é representado como um único reservatório e, na segunda, como dois reservatórios interligados, com transferência mútua de água entre os mesmos. O sistema foi simulado, nas duas concepções, submetendo-o às mesmas condições hidroclimáticas e da operação dos reservatórios de montante, variando a cota mínima operacional e o padrão de afluência de vazão ao sistema. Para a simulação do sistema representado por um reservatório foi utilizado o modelo MODSIM P32 e, para o sistema como dois reservatórios, utilizou-se o modelo SimCOMA, especialmente desenvolvido para representar o balanço hídrico do sistema integrado. Os resultados mostraram que o sistema representado como um único reservatório, a vazão regularizável poderá ser superior até 28% e as perdas por evaporação podem ser inferiores a 6,5% em relação ao sistema representado como dois reservatórios.

**Palavras chave:** Vazão regularizável, sistema integrado, simulação.

## ABSTRACT

The water resources management, to comply with multiple uses requirements in a complex river basin, is not an easy task. In practice, the 'regulated flow' concept has been widely used as water availability parameter in water multi-use planning. As this paper aims to study the water availability of the interconnect system of reservoirs, Coremas and Mãe D'Água, located in Paraíba state, then two hydraulic reservoir systems conception were simulated. The first one is their conception of one reservoir, which was simulated with MODSIM software, and, the second one, as two interconnected reservoirs allowing water transfer between them, which was simulated by a specially developed program, SimCOMA, to represent their water balance. The initial conditions, climatic conditions and operating rules for other upstream reservoirs were the same for both simulation cases. The scenarios studied included variations of inflows and interconnection channel depth. The results have shown that the first conception, as one reservoir, provided a regulated flow that may be up to 28% greater than the one provided by the second conception. The first conception evaporation losses can be up to 6.5% less than the second one.

**Keywords:** Regulated flow, integrated system, simulation

## 1 - INTRODUÇÃO

A diversificação do uso da água e o conseqüente aumento da demanda fez surgir o problema de demandas conflitantes. Segundo Lanna (1997) [1], estes conflitos podem ser: conflitos de destinação de uso e conflitos de disponibilidades quantitativas e/ou qualitativas. Um processo privilegiado para dirimir esses conflitos é a negociação. Entretanto, é preciso o conhecimento do

impacto causado pelas diversas alternativas e os benefícios associados às mesmas.

A bacia hidrográfica do Rio Piancó, foco do desenvolvimento deste estudo está situada no Sertão da Paraíba, região semi-árida do Estado e é uma das bacias de maior conflito de uso das águas. Nela está inserida a maior reserva hídrica, formada por dois reservatórios interligados: o Sistema Coremas - Mãe D'Água, com capacidade para acumular 1,358 bilhões de metros cúbicos. O gerenciamento desse sistema é bastante complexo,

envolvendo 24 reservatórios de montante, com abastecimento de vários municípios e 6 perímetros de irrigação, com uma área potencial de 4.500 ha. Esse sistema atende a diversos usos de jusante, dentre eles: geração de energia, perenização do Rio Piancó (parte da qual representa a demanda hídrica requerida para o estado do Rio Grande do Norte), abastecimento do perímetro irrigado das Várzeas de Sousa, sistema adutor de Coremas/Sabugi, (que abastece 17 municípios) e demandas de irrigação à jusante do sistema.

Para equacionar tais conflitos foi feito um esforço conjunto entre a Agência Nacional de Água (ANA), o Departamento Nacional de Obras Contra a Seca (DNOCS) e os órgãos gestores dos estados da Paraíba e Rio Grande do Norte na elaboração de um documento, denominado de Marco Regulatório, com objetivo de promover a gestão integrada e participativa do rio Piranhas-Açu, visando a elaboração de critérios, normas e procedimentos relativos ao uso dos seus recursos.

Embora o esforço para equacionamento do conflito de usos da água do Sistema Coremas-Mãe D'Água tenha sido importante, o conceito utilizado de vazão regularizada, como parâmetro para a política negociada de água entre os estados envolvidos, pode ser questionado em dois aspectos: a não consideração do sistema hídrico dos reservatórios de montante e a concepção hídrica dos reservatórios Coremas-Mãe D'Água, considerado no estudo como único reservatório, comumente usado em estudos anteriores realizados nesse sistema.

Este trabalho tem como objetivo analisar as disponibilidades hídricas do sistema Coremas-Mãe D'Água, segundo a sua concepção hídrica: com um único reservatório e como dois reservatórios interligados. Para tanto, o sistema foi submetido às mesmas condições climáticas e operacionais do sistema hídrico de montante, com variações nas cotas mínimas de operação dos reservatórios Coremas e Mãe D'Água. Para as simulações do sistema foram utilizados os modelos: Modsim P32, Labadie et al (1999) [2] e SimCOMA, Lima (2004) [3], este último, para a simulação do sistema como dois reservatórios interligados.

## 2 – DADOS DO SISTEMA

### 2.1 - Caracterização da bacia hidrográfica

A bacia do rio Piancó, onde está inserido o sistema Coremas-Mãe D'Água, é uma das sete sub-bacias do Rio Piranhas em território paraibano. Localiza-se no Sudoeste do Estado da Paraíba, entre os paralelos 6°43'51" e 7°58'15" Sul e meridianos 37°27'41" e 38°42'49" a Oeste de Greenwich. Limita-se a Oeste com o estado do Ceará, ao Sul com o estado de Pernambuco, ao Norte com as sub-bacias do Alto e Médio Piranhas e ao Leste com a sub-bacia do Rio Espinharas (Figura 1). O Rio Piancó apresenta suas nascentes na Serra do Umbuzeiro no município de Santa Inês recebendo significativas contribuições de cursos d'água, desaguando finalmente no Rio Piranhas no município de Pombal.

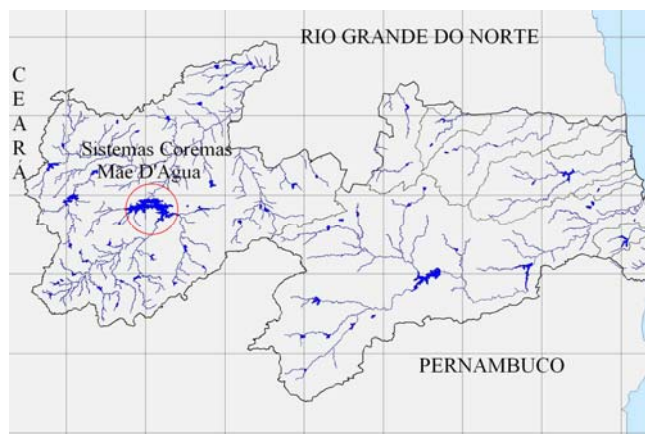


Figura 1 – Localização do Sistema de reservatórios Coremas-Mãe D'Água no estado da Paraíba.

A referida bacia apresenta aspectos climáticos, segundo a classificação de Köppen, como do tipo Awig, na região das cabeceiras, próximo ao município de Triunfo, enquanto as demais partes da bacia são classificadas como BShw'. A temperatura média anual é superior a 24 °C e as temperaturas mais elevadas ocorrem nos meses mais secos: outubro a janeiro e, as menos elevadas entre abril e julho. A umidade relativa do ar média anual é de 64% na foz da bacia, enquanto nas cabeceiras chega a 72%. A insolação diária alcança uma média de 7,3 horas nas circunvizinhanças da serra de Triunfo e 8,7 horas no restante da bacia e a evaporação total anual gira em torno de 3.000 mm.

Os solos predominantes encontrados na bacia são: os Litossolos, Bruno não Cálcico, Podzólicos, Cambissolos Eutrófico, Regossolos Eutrófico, Aluissolos Eutrófico e Latossolos. Com relação à exploração do solo, verifica-se que 28,1% dos solos da bacia está inserida na Classe A e apenas 2,8% dessa área está sendo explorada, geralmente por pequenas propriedades, com cultura de subsistência e alguns projetos públicos de irrigação.

A vegetação natural é do tipo xerófila, pertencente ao bioma caatinga. O caráter xerófilo caracteriza a vegetação nativa, onde recebe a denominação de caatinga hiperxerófila, quando o índice de xerofitismo é elevado, sendo este índice baixo, denomina-se de hipoxerófila. O processo de degradação da vegetação na bacia está bastante acentuado. A área de antropismo já ocupa mais da metade das terras da bacia, causando um elevado grau de degradação, contribuindo para o processo de aridez mais acentuado na região.

### 2.2 - O sistema hídrico Coremas-Mãe D'Água

O esquema do sistema estudo é formado pelos reservatórios Coremas-Mãe D'Água e por quatro grandes contribuições a eles interligados: tributário-01 (Aguiar), o Tributário-02 (Piancó), o Tributário-03 (Emas) e seus reservatórios (totalizando 24) e o Tributário-04, formado pelas áreas não controladas por reservatórios, conforme esquema mostrado na Figura 2.

### 2.3 - Os reservatórios Coremas e Mãe D'Água

O Açude Público Coremas-Mãe D'Água está localizado no município do Coremas, no ponto de coordenadas: 7°01' S e 37°59' W, na bacia hidrográfica do Rio Piancó, inserido na mesorregião do Sertão Paraibano. Com capacidade aproximada para acumular 1,358 bilhões de metros cúbicos, o sistema é formado por dois reservatórios: o

açude Coremas, com capacidade máxima de 720 milhões de metros cúbicos e o açude Mãe D'Água, com capacidade máxima de 638,7 milhões de metros cúbicos. Ambos foram construídos pelo DNOCS com as finalidades de abastecimento, irrigação, piscicultura, geração de energia, perenização do rio Piancó e turismo. A área total de contribuição não controlada dos dois reservatórios é de 5.289,40 Km<sup>2</sup>.

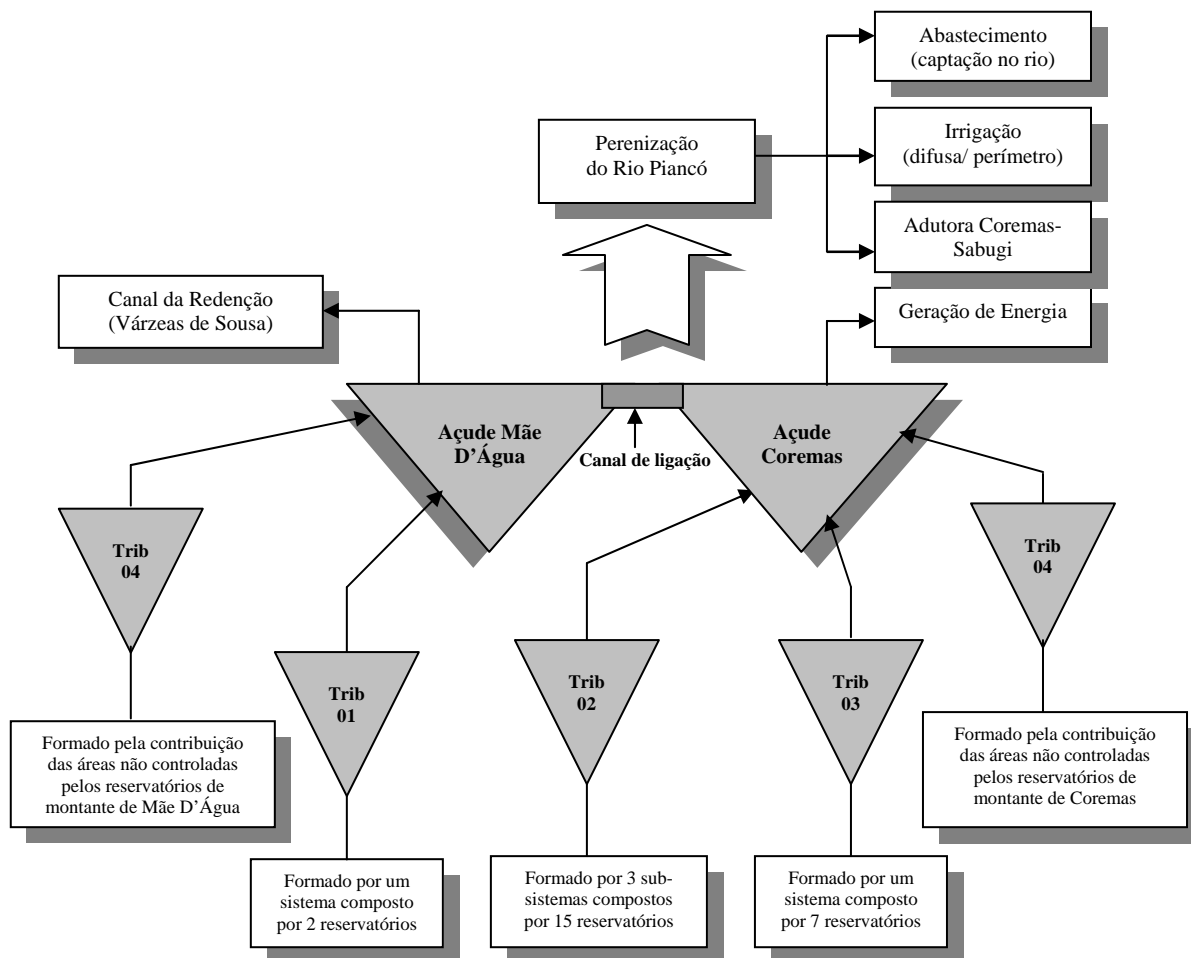


Figura 2 – Esquema hídrico representativo do sistema Coremas-Mãe D'Água.

### 2.4 - Precipitação sobre os reservatórios

Foram utilizados valores de precipitação do banco de dados da Secretaria Extraordinária de Recursos Hídricos do Estado da Paraíba – SEMARH, consistidos pelo método do vetor regional. Para os dados de precipitação direta sobre os reservatórios foram considerados os postos pluviométricos mais próximos dos respectivos reservatórios. Na Tabela 1 estão listados os postos pluviométricos utilizados no estudo, com as respectivas precipitações médias anuais.

Tabela 1 – Postos pluviométricos utilizados nas simulações.

Nome	Código	Precipitação média anual (mm)
Coremas, aç.	3844008	860,6
Aguiar	3843166	744,1
Boa Ventura	3843857	804,4
Ibiara	3843919	974,7
Conceição	3852197	879,0
Ibiara	3843919	974,7
Manáira	3853467	929,5
Itaporanga	3843667	813,6
Nova Olinda	3843992	834,1
Princesa Isabel	3853499	824,1
Nova Olinda	3843992	834,1
Juru	3854036	801,4
Garrotes	3844703	728,5
Catingueira	3844279	945,0
Imaculada	3845703	655,5
Juru	3854036	801,4
Água Branca	3854072	712,1

## 2.5 - Evaporação nos reservatórios

Para a estimativa da evaporação nos reservatórios foram utilizados os valores médios mensais de evaporação do Tanque Classe "A" do posto de Coremas (Tabela 2), corrigidos pelo fator 0,8. O valor médio anual da região é de 2.993 mm.

Tabela 2 – Evaporação média mensal (mm).

jan	fev	mar	abr	maí	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
272	215	204	182	183	182	220	272	300	333	319	311

## 2.6 - Vazões afluentes aos reservatórios

Os dados de vazões afluentes aos reservatórios foram obtidos do Banco de Dados da SEMARH. A série pseudo-histórica de vazões foi gerada pelo modelo hidrológico *chuva x vazão* MODHAC (Modelo Hidrológico Auto Calibrável), para uma série de precipitação média diária de 57 anos, optando-se por uma abordagem determinística conceitual através da utilização do referido modelo, versão aperfeiçoada do MOHTSAR – Modelo Hidrológico para o Trópico do semi-árido, Lanna e Marwell (1986)[4], que se aplica, não só às bacias de regime semi-árido do Nordeste do Brasil, como também, àquelas de clima temperado úmido.

O modelo foi calibrado utilizando-se duas sub-séries 1964/85 e 1975/85 e validada para a série de 1985/89, do posto fluviométrico de Piancó (37360000), onde foram geradas as séries de deflúvios médios mensais a partir de dados de precipitação totais diários, Lima (2004) [3]. Neste trabalho, por não se dispor do mesmo período da série pseudo-histórica de vazões para todos os reservatórios, adotou-se como período de estudo do sistema, a série de 53 anos que abrange os anos de 1937 a 1989. Nas Tabelas 3 e 4 estão representadas as estatísticas das vazões médias mensais das séries pseudo-históricas obtidas para os reservatórios Coremas e Mãe D'Água, respectivamente.

Tabela 3 – Dados estatísticos da série pseudo-histórica de vazões afluentes ao reservatório Coremas ( $m^3/s$ ).

Par	Jan	Feb	Mar	Abr	Maí	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Med	0,8	7,7	42,2	82,6	42,9	15,7	4,9	0,3	0,0	0,0	0,1	0,4
D.P	1,6	28,9	77,5	122,4	46,5	16,3	8,8	1,1	0,0	0,2	0,4	1,7
C.V	2,0	3,8	1,8	1,5	1,1	1,0	1,8	3,1	6,7	5,3	4,7	4,4
Min	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Med. – valor médio; D.P – desvio padrão; C.V – coeficiente de variação; Min. – valor mínimo.

Tabela 4 – Dados estatísticos da série pseudo-histórica de vazões afluentes ao reservatório Mãe D'Água ( $m^3/s$ ).

Par	Jan	Feb	Mar	Abr	Maí	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Med	0,2	1,9	10,4	20,4	10,6	3,9	1,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1
D.P	1,3	23,2	62,1	98,2	37,3	13,1	7,0	0,9	0,0	0,1	0,3	1,3
C.V	6,5	12,2	5,9	4,8	3,5	3,4	3,8	10,1	21,7	17,1	15,4	14,2
Min	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Med. – valor médio; D.P – desvio padrão; C.V – coeficiente de variação; Min. – valor mínimo.

## 2.7 – Curvas dos reservatórios

O sistema Coremas-Mãe D'Água simulado foi composto de 24 principais reservatórios de montante distribuídos em três tributários: Aguiar, Piancó e Emas, visto que o tributário 4 é formado apenas pela área de contribuição ao referido sistema, não controlada por reservatório. Os dados das curvas *cota-área-volume* dos 24 reservatórios componentes do sistema foram obtidos do Cadastro de Açude do Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia do Alto Piranhas e Piancó, SCIENTEC (1997) [5]

## 2.8 - Demandas hídricas de abastecimento

Foram utilizados dados de demandas hídricas (ano 2003) para cada reservatório comprometido com o abastecimento de localidade, a partir de informações fornecidas pela Companhia de Águas e Esgotas da Paraíba (CAGEPA). Na Tabela 5 estão mostrados os dados de volumes mínimos e máximos dos reservatórios, as localidades abastecidas e as respectivas demandas hídricas.

Tabela 5 – Dados de volumes e de demandas hídricas estabelecidos para os reservatórios.

Reservatórios	Volumes ( $hm^3$ )		Demandas	
	Máx.	Mín.	Localidade	(l/s)
B. dos Cochos	4,20	0,35	Iguaracy	11,50
Frutuoso II	3,52	0,17	Aguiar	9,72
Vídeo	6,04	0,3	---	--
Vazantes	9,09	0,45	---	--
Piranhas	25,69	1,28	Ibiara	5,0
Serra Vermelha I	11,80	0,59	Conceição	31,2
Condado	35,01	1,75	---	--
Santa Inês	26,11	0,83	---	--
Poço Redondo*	10,00	3,33	S.de Mangueira	3,2
Catolé II	10,50	0,50	Manaíra	14,8
Cachoeira dos Alves	10,61	0,54	Itaporanga	53,9
Bruscas	38,20	1,91	Curral Velho	2,0
S. de Nova Olinda	97,48	4,87	Nova Olinda	11,5
Jatobá II	6,49	0,32	Princesa Isabel	86,7
Canoas	10,0	0,50	---	--
Tavares	6,47	0,32	---	--
Queimadas	15,62	0,78	S. dos Garrotes	--
Emas	2,01	0,10	Emas	8,16
Cachoeira dos Cegos	80,00	4,00	Catingueira	4,81
Garra*	0,50	0,00	--	--
Jenipapeiro	70,00	5,20	Olho D'Água	9,36
Timbaúba	14,47	0,77	---	--
Bom Jesus	14,64	0,73	Água Branca	11,50

(\*) – Reservatórios não concluídos.

## 3 – METODOLOGIA

### 3.1 – Considerações gerais

Para a avaliação das respostas hídricas do sistema Coremas-Mãe D'Água, no tocante a sua vazão regularizável, foi estudado o sistema considerando duas concepções hídricas: uma considerando o sistema como um único reservatório, representado pela Figura 3 (concepção A) e, considerando o sistema como dois reservatórios integrados interligados por um canal na cota 237 m, representado pela Figura 4 (concepção B).

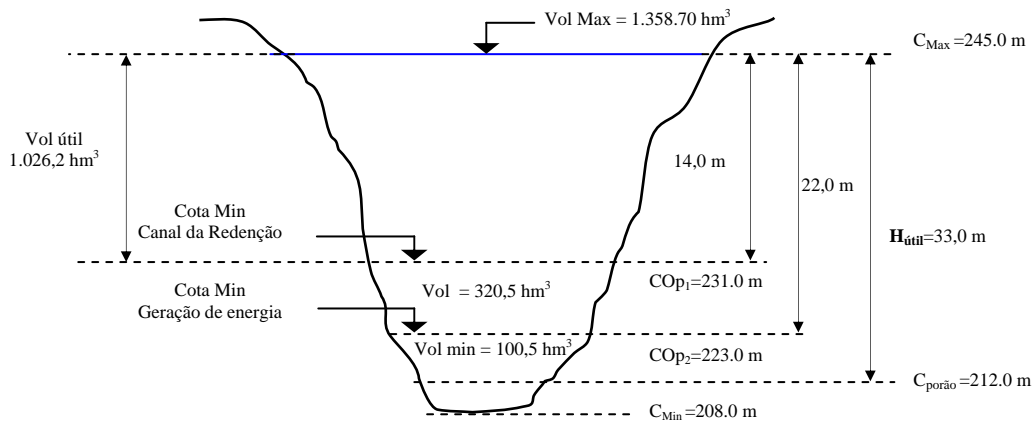


Figura 3 – Representação do sistema Coremas-Mãe D'Água com único reservatório.

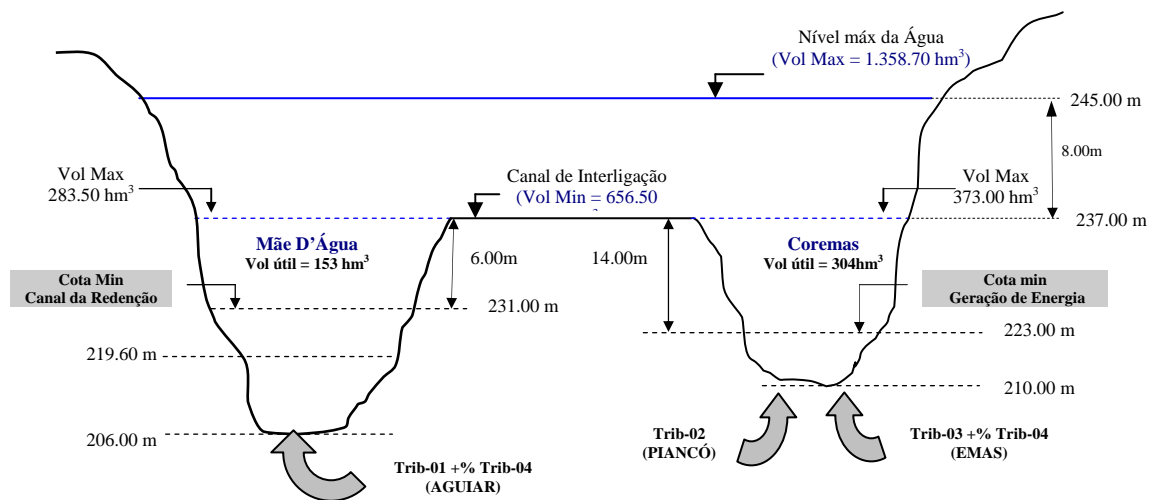


Figura 4 – Representação dos reservatórios Coremas-Mãe D'Água para a simulação no modelo SimCOMA .  
Fonte: Lima (2004) [3].

Na concepção **A** foram avaliadas as disponibilidades hídricas do sistema, considerando as seguintes cotas mínimas operacionais:

- $A_1$  (Cota 231,0 m), considerada como mínima operacional para o Canal da Redenção, responsável pela adução das demandas hídricas para a irrigação das Várzeas de Sousa; e
- $A_2$  (Cota 223,0 m), considerada como mínima operacional para a usina hidrelétrica de Coremas (Sistema CHESF), responsável pela geração de 3,52 MW.

Com relação às séries pseudo-históricas de vazões afluentes ao sistema Coremas-Mãe D'Água, nas duas

concepções hídricas, foram às mesmas considerando os seguintes padrões de afluência ao sistema:

- **Padrão I:** considerando somente a área não controlada pelo sistema; e
- **Padrão II:** considerando todos os tributários (Aguiar, Piancó e Emas) contribuindo para o sistema. Neste padrão, os reservatórios Poço Redondo, Canoas e Garra, foram considerados na condição atual de capacidade, 10hm<sup>3</sup>, 10 hm<sup>3</sup> e 0,5 hm<sup>3</sup>, respectivamente.

O sistema hídrico Coremas-Mãe D'Água foi simulado de forma integrado, conforme a estrutura hídrica apresentada na Figura 5.

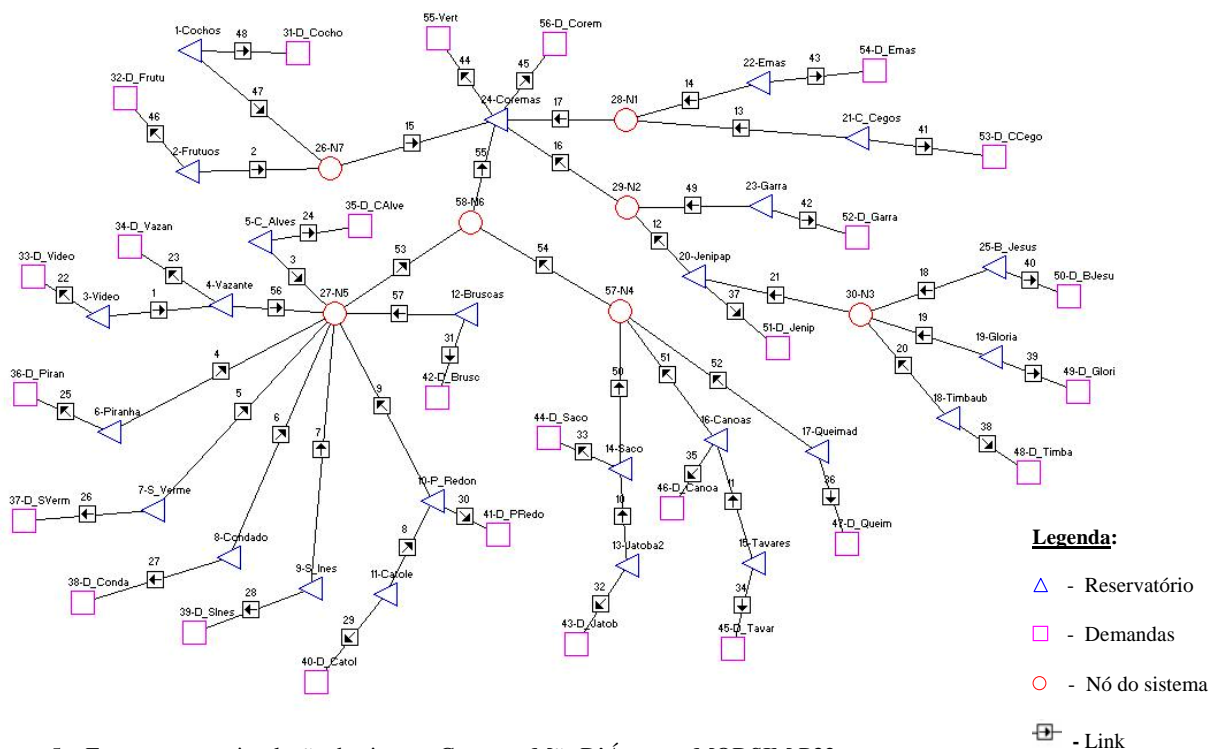
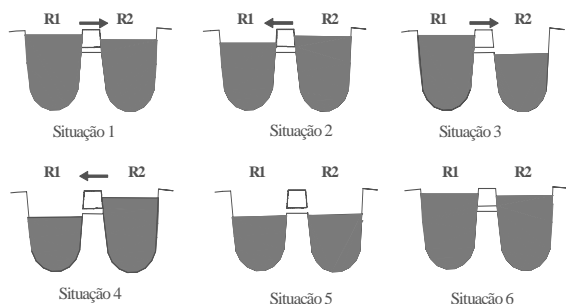


Figura 5 – Esquema para simulação do sistema Coremas-Mãe D'Água no MODSIM P32.

Para a simulação de reservatórios de montante do sistema foi utilizado o Modelo MODSIM P32, Labadie et al (1999) [2], considerando os respectivos dados operacionais dos reservatórios. O balanço hídrico dos reservatórios Coremas-Mãe D'Água foi efetuado por um modelo especialmente desenvolvido para simulação integrada destes, com transferência mútua de água entre os mesmos SimCOMA, Lima (2004) [3].

Neste modelo, cada reservatório é simulado separadamente, compatibilizando as cotas com base nos seus volumes finais e no estágio nos quais estes podem estar acima ou abaixo da cota do canal de ligação. Neste caso, para o desenvolvimento do algoritmo para compatibilização das cotas, foram considerados seis casos passíveis de ocorrência de transferências de volumes entre os reservatórios (Figura 6).



Fig

ura 6 – Situações hídricas possíveis no sistema Coremas-Mãe D'Água.

As situações possíveis de transferência de água entre os reservatórios foram assim definidas:

- **Situação 1.** Os dois reservatórios estarão com nível d'água acima da cota do canal de ligação e o reservatório 1, com nível acima do reservatório 2. Nesta situação, haverá transferência de água do reservatório 1 para o reservatório 2;
- **Situação 2.** Idem ao anterior, mas o reservatório 1 estará com nível abaixo do reservatório 2. Nesta situação, haverá transferência de água do reservatório 2 para o reservatório 1;
- **Situação 3.** Somente o reservatório 1 se encontrará com nível d'água acima da cota do canal de ligação. Nesta situação, a transferência de água é idêntica a situação 1; e
- **Situação 4.** Somente o reservatório 2 se encontrará com nível d'água acima da cota do canal de ligação. Nesta situação, a transferência de água é idêntica a situação 2.

Nas situações 5 e 6 não ocorrerá transferência de águas entre os reservatórios, uma vez que, ambos estão com os níveis abaixo da cota do canal de ligação ou com os níveis iguais acima do canal, respectivamente.

### 3.2 - Equações do balanço hídrico

#### 3.2.1 - Reservatório Coremas

Para o reservatório Coremas foram considerados os afluxos do rio Piancó (tributário 02), do rio Emas (tributário 03) e o percentual referente à área não controlada por reservatórios (tributário 04). A equação do balanço pode ser escrita como:

$$V_{co}(t+1) = V_{co}(t) + V_{Piancó}(t) + V_{Emas}(t) + V_{TR4}(t) + [Pr(t) - Ev(t)]A_{co}(t) - V_{dCo}(t) - V_{lig}(t) \quad (1)$$

Onde,

$V_{co}(t+1)$  – armazenado no reservatório Coremas no início do intervalo de tempo (t+1);  $V_{co}(t)$  - armazenado no reservatório Coremas no início do intervalo de tempo (t);  $V_{Piancó}$  – volume afluyente do tributário Piancó ao reservatório durante o intervalo de tempo (t);  $V_{Emas}$  – volume afluyente do tributário Emas ao reservatório durante o intervalo de tempo (t);  $V_{TR4}$  - volume afluyente do tributário 4 ao reservatório durante o intervalo de tempo (t);  $Ev$  - evaporação do reservatório durante o intervalo de tempo (t);  $Pr$  – precipitação sobre o reservatório durante o intervalo de tempo (t);  $A_{co}$  – área média do espelho d'água do reservatório durante o intervalo de tempo (t);  $V_{dCo}$  – volume de descarga do reservatório durante o intervalo de tempo (t); e  $V_{lig}$  – volume transferido ou recebido pelo reservatório através do canal de ligação, no intervalo de tempo (t).

### 3.2.2 - Reservatório Mãe D'Água

Para o reservatório Mãe D'Água são considerados os seguintes afluxos do rio Aguiar (tributário 01) e o percentual referente à área não controlada por reservatórios neste curso d'água (tributário 04). A equação do balanço pode ser escrita como:

$$V_{MD}(t+1) = V_{MD}(t) + V_{Aguiar}(t) + V_{TR4}(t) + [Ev(t) - Pr(t)]A_{MA}(t) - V_{dMD}(t) - V_{lig}(t) \quad (2)$$

Onde,

$V_{MD}(t+1)$  – armazenado no reservatório Mãe D'Água no início do intervalo de tempo (t+1);  $V_{MD}(t)$  - armazenado no reservatório Mãe D'Água no início do intervalo de tempo (t);  $V_{Aguiar}$  – volume afluyente do tributário Aguiar ao reservatório durante o intervalo de tempo (t);  $V_{TR4}$  - volume afluyente do tributário 04 ao reservatório durante o intervalo de tempo (t);  $Ev$  - evaporação do reservatório durante o intervalo de tempo (t);  $Pr$  – precipitação sobre o reservatório durante o intervalo de tempo (t);  $A_{MA}$  – área média do espelho d'água do reservatório durante o intervalo de tempo (t);  $V_{dMD}$  – volume de descarga do reservatório durante o intervalo de tempo (t); e  $V_{lig}$  – volume transferido ou recebido pelo reservatório através do canal de ligação, no intervalo de tempo (t).

### 3.3.3 - Transferência de água entre os reservatórios

Após o balanço hídrico em cada reservatório, o modelo calcula o volume de água transferido de um reservatório para outro, de modo a compatibilizar suas respectivas cotas finais. Para o cálculo do volume de transferência entre os reservatórios, através da compatibilização das respectivas cotas do nível da água, o modelo utiliza o processo de linearização da curva *cota-volume*

individual dos reservatórios. Deste processo, as seguintes equações são obtidas para determinação das cotas do nível da água nos reservatórios:

- Reservatório com a cota menor:

$$Hr2(t) = (DelHr / DelVr2) \cdot Vr2(t) \quad (3)$$

- Reservatório com a cota maior:

$$Hr1(t) = DelHr - (DelHr / DelVr1) \cdot Vr1(t) \quad (4)$$

Sendo,

$$DelHr = \text{abs} [Hr(2) - Hr(1)] \quad (5)$$

$$DelVr1 = \text{abs} [Vr1(2) - Vr1(1)] \quad (6)$$

$$DelVr2 = \text{abs} [Vr2(2) - Vr2(1)] \quad (7)$$

Onde,

$Hr1(t)$  e  $Hr2(t)$  - representam os incrementos nas cotas do nível da água dos reservatórios 1 e 2, respectivamente, a partir da cota menor;  $Vr1(t)$  e  $Vr2(t)$  - representam os volumes transferidos dos reservatórios 1 e 2, respectivamente;  $DelHr$  - representa o valor absoluto da diferença de cota do nível da água entre os reservatórios;  $Hr(1)$  e  $Hr(2)$  – representam as cotas de nível de água dos reservatórios 1 e 2, respectivamente;  $DelVr1$  - representa o valor absoluto do volume transferido do reservatório 1;  $DelVr2$  - representa o valor absoluto do volume transferido do reservatório 2;  $Vr1(1)$  e  $Vr1(2)$  – representam os volumes no reservatório 1 nas cotas  $Hr(1)$  e  $Hr(2)$ , respectivamente; e  $Vr2(1)$  e  $Vr2(2)$  – representam os volumes no reservatório 2 nas cotas  $Hr(1)$  e  $Hr(2)$ , respectivamente.

Os parâmetros envolvidos no algoritmo de transferência de água entre os reservatórios foram validados, através de análise de resultados, para o sistema na concepção hídrica **A** (único reservatório), entre o modelo SimCOMA com outros modelos de simulação, inclusive como o MODSIM P32

## 4 - ANÁLISES DOS RESULTADOS

O sistema foi simulado na concepção **A** para as cotas mínimas operacionais: 231,0 m e 223,0 m e, na concepção **B**, para as seguintes situações:

- Reservatório Mãe D'Água – cota mínima 231,0 m e vazão máxima retirada de 1,9 m<sup>3</sup>/s. Essas situações são referentes, a cota da tomada d'água do Canal da Redenção e a vazão requerida pelo perímetro Várzeas de Sousa, ANA (2004) [6], respectivamente; e

- Reservatório Coremas – cota mínima 223,0 m, referente à cota mínima para geração de energia, com retirada até a vazão máxima regularizável pelo sistema.

Os valores de vazão regularizável obtidas das simulações do sistema Coremas-Mãe D'Água segundo os

dois padrões de aflúências hídricas ao sistema, para as concepções hídricas **A**<sub>1</sub> (cota 231 m) e **B** e para **A**<sub>2</sub> (cota 223 m) e **B**, estão mostrados na Tabela 6. Os volumes médios mensais evaporados do sistema Coremas-Mãe D'Água obtidos pelas simulações, segundo as concepções hídricas e os padrões de aflúências hídricas consideradas para o sistema, estão mostrados na Tabela 7. Os resultados mostraram que as disponibilidades hídricas do sistema estudado são bastante vulneráveis as condições

operacionais dos reservatórios Coremas e Mãe D'Água, conforme a interpretação (concepção) hídrica adotada. Os estudos revelaram que, na simulação do sistema na concepção hídrica **A** (único reservatório), as vazões regularizáveis podem ser inferiores em até 1,55 m<sup>3</sup>/s (17,1%) em relação à concepção hídrica **B** (dois reservatórios), independente do padrão de aflúência considerado.

Tabela 6 – Vazões regularizáveis do sistema Coremas-Mãe D'Água para as concepções hídricas **A**<sub>1</sub>, **A**<sub>2</sub> e **B**, segundo os padrões de aflúência.

Padrão de aflúência	Vazões regularizáveis (m <sup>3</sup> /s)			(A <sub>1</sub> – B)		(A <sub>2</sub> – B)	
	Concepção A <sub>1</sub>	Concepção A <sub>2</sub>	Concepção B	(m <sup>3</sup> /s)	(%)	(m <sup>3</sup> /s)	(%)
Padrão I	6,10	8,00	6,26	-0,16	2,6	+1,74	27,8
Padrão II	7,50	9,40	9,05	-1,55	17,1	+0,35	3,9

Tabela 7 – Volumes médios mensais evaporados do Coremas-Mãe D'Água para as concepções hídricas **A**<sub>1</sub>, **A**<sub>2</sub> e **B**, segundo os padrões de aflúência.

Padrão de aflúência	Volumes médios mensais evaporados (hm <sup>3</sup> )			(A <sub>1</sub> – B)		(A <sub>2</sub> – B)	
	Concepção A <sub>1</sub>	Concepção A <sub>2</sub>	Concepção B	(hm <sup>3</sup> )	(%)	(hm <sup>3</sup> )	(%)
Padrão I	16,830	15,750	16,837	-0,007	0,04	-1,087	6,46
Padrão II	16,800	16,030	16,676	+0,124	0,74	-0,646	3,87

Entretanto, o quadro se inverte, quando foram considerados: a cota mínima operacional de 223m e a aflúência dos reservatórios de montante ao sistema. Neste caso, o ganho de vazão regularizável pode chegar a 1,74 m<sup>3</sup>/s (27,8%) e as perdas por evaporação podem ser inferiores a 1,087 hm<sup>3</sup>/mês (6,5%), em relação à concepção hídrica **B**. Das considerações feitas anteriormente, dois parâmetros foram determinantes nas disponibilidades hídricas do sistema. O primeiro, diz respeito às cotas mínimas operacionais dos reservatórios, responsável pelo ganho de 1,9m<sup>3</sup>/s, na concepção hídrica **A** do sistema. Para uma diferença de 8 metros na cota mínima, houve um ganho de 31% da vazão regularizável do sistema, em relação à cota mínima de 231m (Canal da Redenção). Vale ressaltar que, embora haja um ganho significativo de vazão do sistema, haveria risco de não atender as demandas hídricas de irrigação das Várzeas de Sousa, condicionadas pela cota mínima operacional do referido canal. O segundo parâmetro diz respeito ao padrão de aflúência de vazão ao sistema: com ou sem considerar os vertimentos dos reservatórios de montante. Este parâmetro foi mais significativo, no tocante as vazões regularizáveis, considerando o sistema na concepção hídrica **B** (dois reservatórios interligados). Nesta concepção, o ganho de vazão foi de 2,79m<sup>3</sup>/s (44,6%) do que quando não se considerou os vertimentos de montante. Na concepção hídrica **A** (único reservatório), o padrão de aflúência hídrica, gerou o mesmo ganho na vazão máxima regularizável do sistema (1,4m<sup>3</sup>/s) nas duas cotas operacionais. Entretanto, em termos percentuais, o ganho foi mais significativa na cota de operação 231m (**A**<sub>1</sub>), com um ganho de 23% contra 17,5% na cota mínima de operação 223m (**A**<sub>2</sub>). As diferenças de disponibilidades

hídricas observadas pelo estudo estão associadas a três parâmetros básicos de entrada do modelo de simulação, traduzidas pelas particularidades das duas concepções hídricas do sistema. O primeiro, diz respeito às diferenças de área líquida nos reservatórios, principalmente na concepção **B**, abaixo da cota do canal de ligação. Neste caso, as áreas líquidas expostas pelos reservatórios são diferentes, em cada instante *t* da simulação, conforme as situações hídricas mostradas pela Figura 6. Na concepção **A**, a área considerada é igual a soma das áreas dos respectivos reservatórios para a mesma cota. O segundo parâmetro está associado às aflúências hídricas ao sistema. Na concepção **B**, abaixo da cota do canal de ligação, os reservatórios recebem contribuições diferenciadas: no reservatório Mãe D'Água, somente o tributário Aguiar e para o reservatório Coremas, os tributários: Emas e Aguiar. Vale ressaltar que, a área de contribuição referente aos tributários Emas e Piancó é de aproximadamente quatro vezes superior a área de tributário Aguiar, gerando superfícies líquidas diferenciadas nos reservatórios, tendo influência direta sobre os volumes evaporados, influenciando assim na vazão regularizável do sistema. O terceiro parâmetro diz respeito às cotas mínimas operacionais dos reservatórios. Enquanto que na concepção hídrica **A**, a cota é constante, na concepção **B**, estas são diferenciadas para cada reservatório (ver Figura 4). Todos esses fatores, aliados as capacidades dos reservatórios, foram determinantes no comportamento hídrico do sistema, exercendo influência direta sobre as disponibilidades hídricas observadas no estudo.



## 5 – CONCLUSÕES

O estudo mostrou que a concepção hídrica do sistema Coremas-Mãe D'Água comumente utilizado como um único reservatório (concepção hídrica A) deve ser evitada. A simulação do sistema na referida concepção mostrou variações consideráveis nos valores das disponibilidades hídricas, quando comparada com as disponibilidades obtidas na concepção mais realista do sistema (concepção B). As variações observadas pelo estudo mostraram que essas podem chegar a até 28%, dependendo das cotas mínimas operacionais e do padrão de afluência hídrica aos reservatórios. Essas variações estão associadas com as perdas por evaporação do sistema, cuja variação percentual do volume evaporado, entre as duas concepções hídricas, pode chegar a 6,5%, dependendo do padrão de afluxo hídrico. Diante do exposto, o conceito de vazão regularizável, como parâmetro para planejamento de uso dos recursos hídricos do sistema, não é adequado. O estudo mostrou que o referido conceito foi extremamente vulnerável as condições operacionais dos reservatórios de montante (padrão de afluência), da concepção hídrica do sistema (como único ou dois reservatório interligados) e da operação dos reservatórios integrantes do sistema: Coremas e Mãe D'Água.

## REFERÊNCIAS

- [1] LANNA, A. E., 1997, "Análise de sistemas e engenharia de recursos hídricos. In: Técnicas Quantitativas para o Gerenciamento de Recursos
- [2] LABADIE, J. W. et al, 1999, "MODSIM: Modelo de Rede de Fluxo para Simulação de Bacias Hidrográficas". São Paulo, LabSid – EP-USP, São Paulo-SP.
- [3] LIMA, C. A. G., 2004, "Análise e Sugestão para Diretrizes de Uso das Disponibilidades Hídricas Superficiais da Bacia Hidrográfica do Rio Piancó, Localizada no Estado da Paraíba". Tese de Doutorado. UFCG, Campina Grande – PB. 274p.
- [4] LANNA, A. E. e MARWEL, P., 1997. "Mohtsar – Modelo Hidrológico para o Trópico Semi-Árido". Instituto de Pesquisas Hidráulicas – IPH. Porto Alegre – RS.
- [5] SCIENTEC (Associação para Desenvolvimento da Ciência e Tecnologia), 1997, "Plano Diretor de Recursos Hídricos da Paraíba: Bacias do Rio Piancó e do Alto Piranhas". SEPLAN. Paraíba. Brasil.
- [6] ANA (Agência Nacional de Águas), 2004, "Resolução N° 687 de 03 de dezembro de 2004". Brasília - DF. Brasil Hídricos". Organizador: Rubem La Laina Porto, ABRH, ed. UFRGS, Porto Alegre – RS, pp.15-41

