

## RESERVATÓRIOS DA REGIÃO METROPOLITANA DE FORTALEZA, NORDESTE DO BRASIL – influência dos níveis operacionais sobre a salinidade da água e correlações entre parâmetros de qualidade

Fernando José Araújo da

Silva

fjas@unifor.br

Alan Michell Barros

Alexandre

balarama\_pgs@yahoo.com.br

### Resumo

Foi definido um perfil recente dos níveis de acumulação hídrica e da qualidade de água em 7 reservatórios da Região Metropolitana de Fortaleza, Nordeste brasileiro. Os níveis de acumulação de água apresentaram correlações negativas ( $\alpha=0,05$ ) com parâmetros de salinidade. A condutividade elétrica apresentou coeficientes de correlação positiva com dureza,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Na^+$ ,  $K^+$ ,  $Cl^-$  e sólidos totais. Parâmetros não conservativos também apresentaram correlação positiva, sendo porém menos representativas. Este tipo de análise é importante para o estudo da qualidade da água nos reservatórios da região. A predição de muitos destes parâmetros, principalmente os conservativos, permite definir rapidamente um perfil de qualidade de água.

*Palavras-chave:* Nordeste brasileiro, salinidade, modelagem de qualidade de água.

### Abstract

This study presented a recent profile on water accumulation levels and quality in 7 reservoirs in the Metropolitan Region of Fortaleza, Northeast Brazil. Water levels in the reservoirs showed negative correlation (at 0.05 level of significance) with salinity parameters. Electrical conductivity showed positive correlation with hardness,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Na^+$ ,  $K^+$ ,  $Cl^-$  and total solids. Non conservative parameters also showed positive correlation, but less significant. This type of analysis is important for the investigation of water quality in reservoirs of the region. The prediction of parameters, mainly conservative, is simple and rapid for defining water quality profile.

*Keywords:* Northeast Brazil, salinity, water quality modeling.

## 1 Introdução

O Nordeste brasileiro possui milhares de reservatórios artificiais, denominados açudes, que consistem em uma intervenção do homem na natureza, com objetivo de adaptar os padrões das vazões naturais dos rios aos padrões demandados pela sociedade (CAMPOS, 1996). Estes constituem a principal fonte hídrica para abastecimento humano e atividade produtiva. Historicamente, os estudos de quantificação de água têm sido a maior preocupação. Porém, às exigências cada vez maiores da qualidade da água, impõem-se estudos para avaliação deste aspecto dos recursos hídricos. Além do estudo de balanço hídrico, são necessárias investigações acerca da qualidade de água dos corpos aquáticos do trópico semi-árido nordestino (LARAQUE, 1989).

O gerenciamento da oferta de água baseia-se no conjunto: quantidade e qualidade. Devido a uma tradição institucional, foram estabelecidas no Brasil entidades distintas para atender a cada uma destas funções. No que diz respeito à quantidade,

esta é uma função deliberativa e executiva de compatibilização dos planos multi-setoriais de uso quantitativo de água, aos planos e diretrizes globais de planejamento estabelecidos pelo poder público. Este é constitucionalmente o proprietário dos recursos hídricos. Já o gerenciamento da qualidade refere-se ao planejamento, ao monitoramento, ao licenciamento, à fiscalização e à administração das medidas indutoras do cumprimento dos padrões de qualidade ambiental estabelecidos (LANNA, 1993).

No caso do Ceará, o monitoramento da quantidade ou volume armazenado nos açudes é feito pela Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos – COGERH. A leitura dos níveis de água, através de baterias de réguas limnimétricas instaladas dentro dos reservatórios, e a observação das vazões conduzidas pelos rios fornecem dados para o Programa de Gerenciamento das Águas Territoriais. O monitoramento da qualidade da água também é realizado pela COGERH, em convênio com a Superintendência Estadual de Meio Ambiente – SEMACE. Isto define a adequabilidade da água para os diversos fins, promove a conservação e a produção de informações que tornem possível prever o cenário de qualidade em curto prazo.

O monitoramento é um instrumento essencial para investigar a variação da qualidade da água, ao longo do tempo, identificar alterações causadas por antropismo, e, prevenir e definir situações críticas de qualidade. Porém, isto é uma tarefa difícil e onerosa.

A falta de recursos técnicos e financeiros requer, muitas vezes, elementos auxiliares para a tomada de decisão sobre gerenciamento de reservatórios e uso da água. Em períodos de estiagem prolongada, a transferência de volumes hídricos entre reservatórios é uma das principais ações para o pronto atendimento de demandas. No entanto, é necessário que se considere o nível de salinidade presente na água do açude. Assim, são requeridas ferramentas que auxiliem prontamente a análise da qualidade da água. É necessário também desenvolver recursos de avaliação e predição da qualidade, a partir de elementos quantitativos hídricos.

## 2 Disponibilidade hídrica e qualidade da água no Nordeste Brasileiro

No semi-árido nordestino, o problema do abastecimento foi, por muito tempo, justificado pela escassez e a irregularidade das águas pluviais e fluviais. Atualmente, os estudos sobre Nordeste semi-árido concordam, quase que unanimemente, que o problema não reside unicamente na pobreza regional e anormalidade climática, mas também na vulnerabilidade regional, em termos de obras hídricas (CAMPOS, VIEIRA NETO e MARTINS, 1997)

Durante os períodos secos, não somente diminuem ou cessam as precipitações durante um tempo determinado, mas há também uma incerteza sobre a próxima estação das chuvas, se esta irá ocorrer, e caso aconteça, com que regularidade e quantidade. Enfim, se haverá volume hídrico suficiente para prover as demandas. Os açudes do Ceará são de caráter interanual, de maneira que seus volumes possam prover água por vários anos de pluviometria deficitária (GONDIM FILHO, 1995).

Caracteristicamente, os assentamentos urbanos estão localizados às margens dos corpos hídricos. No Ceará, Nordeste brasileiro, isto não é diferente. Devido às características geo-climáticas locais, a construção de açudes é uma necessidade para a satisfação das demandas dos recursos hídricos para seus múltiplos usos, com uma certa garantia de abastecimento. Esta situação seria impossível anteriormente, quando se dependia da disponibilidade hídrica de rios intermitentes.

No estudo acima referido, foram determinados oito indicadores da vulnerabilidade regional do Ceará, a saber: i) insuficiência na capacidade de armazenamento; ii) crescimento na demanda por água; iii) sobre-exploração de águas subterrâneas; iv) variabilidade interanual dos deflúvios anuais para atendimento às demandas de anos normais; vi) variabilidade dos deflúvios anuais para atendimento às demandas de anos secos; vii) suscetibilidade do atendimento às secas; e, viii) insuficiente duração do ciclo contínuo de umidade. A partir de estudo, verificou-se que as bacias metropolitanas (na Região Metropolitana de Fortaleza - RMF) apresentam índice de açudagem ainda baixo, com risco de comprometimento quantitativo e qualitativo.

A RMF comporta o centro econômico do Estado (IPLANCE, 2000) e exige altos níveis de garantias hídricas. Faz-se necessário, portanto, o estudo de transposição de volumes hídricos de outras bacias, pois há poucas possibilidades de construção de novos reservatórios.

No Ceará, a irrigação é o uso que demanda os maiores volumes de água, sendo também um grande agregador de benefícios, como valorização da terra e geração de emprego e renda. Este fenômeno é facilmente constatado, pois o que antes, era uma região inóspita, após a perenização, a partir da construção de um açude, a zona ribeirinha se organiza e passa a produzir ao longo do seu curso, principalmente quando o rio ou riacho é dotado de alguma eletrificação e infra-estrutura viária. Nas bacias metropolitanas, os abastecimentos doméstico e industrial são os usos que demandam os maiores volumes. Nestas áreas, há preocupação com o despejo de grandes quantidades de águas servidas. Estas são as maiores fontes de

poluição, merecendo, além do gerenciamento da quantidade, o efetivo gerenciamento da qualidade.

A noção de padrão de qualidade vem gradativamente se ampliando. Mesmo sendo de visão antropocêntrica, cada vez menos está centrada nos problemas humanos imediatos de saúde e bem-estar, e passa a tentar englobar o conceito de desenvolvimento sustentável: expandir o sistema econômico, e preservando o capital natural para as futuras gerações (CÂNEPA e GRASSI, 1995).

Para cada tipo de utilização, são feitas exigências quanto aos limites de impurezas da água, e alguns usos requerem elevados padrões sanitários. O CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente, através da resolução de número 20/86, estabeleceu nove classes de águas, de acordo com seus usos preponderantes, sendo cinco para águas doces, duas para águas salobras e duas para águas salinas. No estado do Ceará, não existe instrumento sobre qualidade e uso específico dos recursos hídricos, todas as águas doces são Classe 2 (respeitando as nascentes e as águas de elevado teor salino). As mesmas têm como usos preponderantes: i) o abastecimento doméstico após tratamento convencional, ii) a recreação, iii) a irrigação, iv) a aquicultura para consumo humano.

LARAQUE (1989) investigou 33 reservatórios no Nordeste brasileiro enfocando aspectos de qualidade e quantidade. No Ceará, mais recentemente, foi desenvolvida investigação semelhante por ALEXANDRE e DA SILVA (2002 a, b) sobre reservatórios da Região Metropolitana de Fortaleza. Em razão das características geo-climáticas locais, dá-se ênfase ao problema de salinização da água dos açudes. Este fenômeno é comum em quase todo o Nordeste brasileiro. Estes autores concentraram-se em parâmetros conservativos, referentes à salinidade da água. Por outro lado, além desta abordagem, são necessários estudos sobre parâmetros não conservativos, indicadores da qualidade da água na região.

Normalmente, a salinidade da água dos reservatórios correlaciona com ciclos de enchimento e de esvaziamento. Durante os ciclos de enchimento, que coincidem com a época chuvosa, dois processos ocorrem: o primeiro acontece tão logo sejam iniciadas as chuvas, quando o escoamento superficial carrega os sais pouco retidos às partículas de solo até a bacia hidráulica do açude, o que pode aumentar a concentração média de sais no açude (QUEIROZ, 2000). Dependendo da concentração de sais na água do escoamento superficial, o segundo processo pode contribuir para diluição da massa salina contida no açude, uma vez que aqueles sais pouco retidos nas partículas de solo já foram carregados até o açude. A intensidade de concentração ou de diluição dos sais na bacia hidráulica dos açudes tanto é influenciada pela concentração inicial das águas do açude, quanto pelos tipos de solos na bacia hidráulica do açude. As chuvas incidentes diretamente na bacia hidráulica também contribuem para diluição.

Durante cada ciclo de esvaziamento, que coincide com a época seca do ano, o reservatório perde por evaporação água isenta de sais, o que contribui para aumentar a concentração deste no corpo hídrico. Sendo assim, há uma tendência natural de haver acréscimo da concentração salina, à medida que aumenta o tempo passado da construção do açude. Este acréscimo pode ser reduzido de acordo com a intensidade e a frequência de ocorrência de sangrias (CRUZ, FARIA e GALBRIATTI, 2002; FUNCEME, 2002).

As concentrações de sais de um reservatório podem elevar-se sobremaneira com a transposição de águas de reservatórios onde a concentração de sais é elevada. Este procedimento é comum no abastecimento da Região Metropolitana de Fortaleza. Desta forma, é necessário conhecer a qualidade da água do açude em questão e a do reservatório a montante deste.

Fora do semi-árido nordestino, destaca-se o estudo de GASTALDINI, PAIVA e PAIVA (2002) no rio e reservatório do Arroio Vacacaí-Mirim, no Rio Grande do Sul. Estes verificaram que a qualidade das águas é influenciada pelo nível hídrico disponível no reservatório. Foram observadas maiores correlações com parâmetros conservativos, as menores relativas a parâmetros não conservativos.

### 3 Metodologia

#### **Características geo-climáticas das bacias metropolitanas de Fortaleza**

Fortaleza é a capital do Estado do Ceará e tem, atualmente, uma população em torno de 2,1 milhões de habitantes. O município tem uma área de 337 km<sup>2</sup>, e conta, em seu entorno, com mais oito municipalidades, formando a Região Metropolitana de Fortaleza – RMF (3° 43' Sul; 38° 32' Oeste).

A bacia Metropolitana de Fortaleza encontra-se posicionada na região Nordeste do Estado do Ceará, limitada ao sul pela bacia do Rio Banabuiú, a leste pela bacia do Rio Jaguaribe, a oeste pela bacia do Rio Curu, desembocando ao norte e nordeste

no Oceano Atlântico. É composta por um conjunto de 14 bacias independentes que abrangem uma área de 15.085 km<sup>2</sup>, englobando total ou parcialmente o território de 41 municípios, com destaque para Região Metropolitana de Fortaleza, que abriga cerca de 38% da população estadual (COMPANHIA DE GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS, 2000).

O regime pluviométrico da região é caracterizado pela heterogeneidade temporal, verificando-se uma concentração da precipitação no primeiro semestre do ano, e uma forte variação interanual. Geralmente, a estação chuvosa tem início no mês de Janeiro e se prolonga até Junho. O trimestre mais chuvoso é de fevereiro a abril ou de março a maio, respondendo por 65 a 70% da precipitação anual.

As condições climáticas, como temperatura elevada, alta incidência de radiação solar e ventos moderados, favorecem o fenômeno da evaporação. Este provoca perdas hídricas consideráveis nos volumes acumulados em superfícies livres. Estas condições são mais rigorosas durante a estiagem, pois a ausência de chuvas contribui para o acréscimo das perdas por evaporação. A deficiência hídrica das áreas litorâneas tem início no mês de julho prolongando-se até Janeiro, com índices situados entre 600 e 750 mm anuais. No trimestre úmido, nos anos de pluviometria média ou acima, observam-se excedentes hídricos, geralmente inferiores a 100 mm, apresentando o litoral de Fortaleza índices próximos a 400 mm.

### Reservatórios estudados

O sistema que atende a Região Metropolitana de Fortaleza – RMF é composto pelo açude Pacajus, ligado por um canal aos açudes do sistema Pacoti-Riachão e Acarape do Meio, que alimentam o açude Gavião. Imediatamente à jusante desse reservatório, localiza-se a Estação de Tratamento de Água – ETA, responsável pelo suprimento de água tratada à RMF.

A operação desse sistema condiciona-se ainda à tomada de decisão quanto à qualidade das águas importadas do açude Pacajus, e à necessidade de manter o açude Gavião praticamente cheio, dada a necessidade de manutenção de uma cota mínima que garanta o suprimento gravitatório da ETA - Gavião. Esta última imposição à operação do sistema integrado de reservatórios da RMF revela-se extremamente inconveniente para o conjunto de mananciais, já insuficientes para atender situações de estresse hídrico. O nível de comprometimento da demanda sujeita-se à evaporação de grande área de espelho d'água e permite também a sangria de praticamente todo o deflúvio da bacia do açude Gavião, contribuindo para enchentes no baixo Cocó (ALEXANDRE e DA SILVA, 2002b).

O Açude Sítios Novos foi construído no final da última década para abastecer o Complexo Industrial do Pecém. O Açude Castro foi construído para auxiliar o abastecimento do açude Pacajus através do rio Choró. A operação integrada do sistema de reservatórios para abastecimento da RMF é apresentada na Figura 1, enquanto uma descrição das características destes estão na Tabela 1.

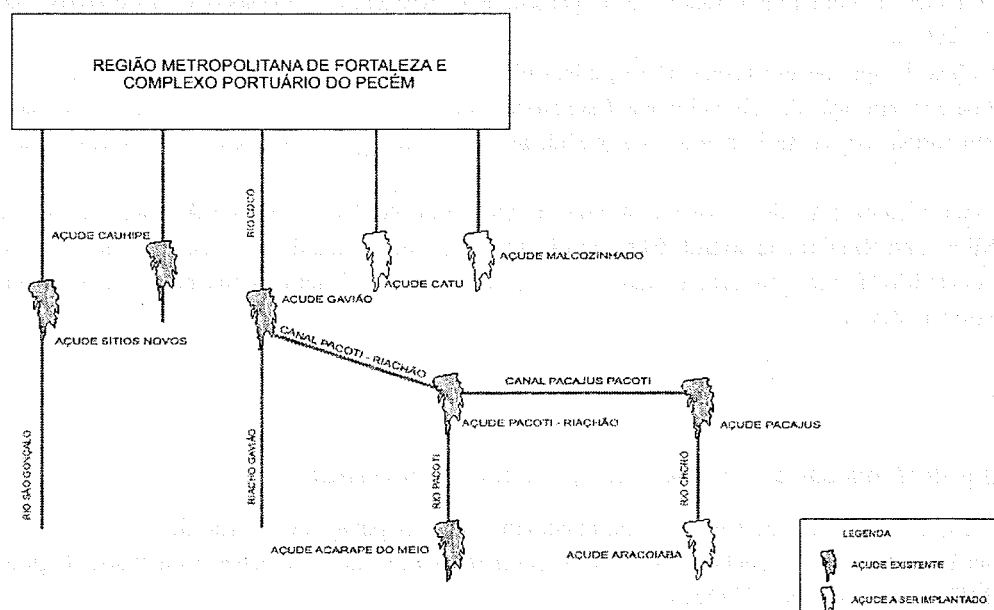


Figura 1 – Apresentação do sistema integrado abastecimento RMF. (COMPANHIA DE GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS, 2000)

**Tabela 1** – Apresentação das características dos reservatórios que abastecem a RMF. (COMPANHIA DE GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS, 2000).

Açude / Características	Acarape	Castro	Gavião	Pacajus	Pacoti	Riachão	Sítios Novos
Município	Redenção	Itapiuna	Pacatuba	Pacajus	Horizonte	Itaitinga	Caucaia
Rio Barrado	Pacoti	Castro	Gavião	Choro	Pacoti	Riachão	São Gonçalo
Bacia Hidrográfica (km <sup>2</sup> )	197,1	351,7	94,5	4486,1	1077,7	33,7	441,7
Bacia Hidráulica (ha)	237,8	840,8	579,0	3582,1	4810,1	577,7	3850,0
Profundidade Média (m)	14,3	7,6	5,1	6,7	7,9	8,3	3,2
Volume (hm <sup>3</sup> )	31,5	63,9	32,9	240,0	380,0	47,9	123,2
Volume Morto (hm <sup>3</sup> )	0,03	4,03	21,23	34,71	21,74	3,24	18,43
Q <sub>90</sub> (m <sup>3</sup> /s)	1,08	0,24	0,49	2,92	4,53	*	1,18
Rendimento do Açude (%)	10,9	11,9	52,4	38,3	33,9	*	30,1

\* Os parâmetros foram apresentados em conjunto com o Açude Pacoti.

### Níveis de acumulação de água

No período de maio de 2001 a abril de 2002 foram realizadas medições dos níveis de água nos açudes: Pacoti - PA, Pacajús - PJ, Riachão - RI, Sítios Novos - SN, Acarape - AC, Gavião - GA e Castro - CA. Foram levantadas as seguintes informações acerca dos níveis de água nos reservatórios: volume total dos reservatórios (VT), volume acumulado em tempo qualquer (VAC), área inundável total (AIN), área inundada em tempo qualquer (AI), profundidade média total (HP) e profundidade média em tempo qualquer (HM).

### Parâmetros de qualidade de água

Quanto aos parâmetros de qualidade de água foram determinados: pH, cor, turbidez (Trb), alcalinidade total, dureza (DRZ), cálcio, magnésio, cloretos, sólidos totais (ST), sulfato, nitrato, nitrito, amônia, sódio, potássio, condutividade elétrica (CE), clorofila "a", fósforo total (PT), ortofosfato (OP), coliformes fecais (CF), oxigênio dissolvido (OD) e demanda bioquímica de oxigênio (DBO).

As informações sobre os níveis de água disponíveis nos reservatórios foram obtidas junto a Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos. Dados relativos à qualidade da água foram determinados nos laboratórios da SEMACE. Os procedimentos analíticos seguiram as recomendações de AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (1992). A frequência de amostragem foi mensal.

## 4 Resultados e discussão

### Níveis de acumulação e água

A Tabela 2 apresenta os valores das medianas dos parâmetros concernentes aos níveis de acumulação de água nos reservatórios. Os açudes Castro e Sítios Novos apresentaram os mais baixos níveis de acumulação de água, 21,7 e 40,3%, respectivamente. Os açudes com níveis de acumulação mais elevados foram o Gavião (97,6%) e o Acarape (85,7%). Estes valores correspondem ao percentual acumulado em relação à capacidade máxima de cada reservatório para as razões VAC/VT, AI/AIN e HM/HP.

**Tabela 2** – Valores das medianas dos parâmetros considerados no estudo (Maio/2001 a Abril/ 2002).

PARÂMETROS	RESERVATÓRIO						
	PA	PJ	RI	SN	AC	GA	CA
VAC/VT	0,502	0,719	0,571	0,403	0,857	0,976	0,217
AI/AIN	0,631	0,853	0,728	0,547	0,968	0,998	0,327
HM/HP	0,794	0,828	0,786	0,732	0,611	0,974	0,607

### Qualidade da água nos reservatórios

A Tabela 3 apresenta os valores das medianas dos parâmetros de qualidade de água nos reservatórios estudados. Os açudes Gavião, Pacoti e Castro merecem atenção, uma vez que foram verificadas contagens de coliformes fecais próximas a 1.000/100 mL, limite recomendado pelo CONAMA na resolução 20/86. Isto sugere atividade antrópica em locais próximos dos reservatórios. Isto já havia sido observado por ALMEIDA et al. (2001) em trabalho anterior.

A Tabela 4 mostra as correlações lineares (para  $\alpha = 0,05$ ) entre as razões representativas dos níveis de acumulação de água nos reservatórios (VAC/VT, AI/AIN e HM/HP). Também são mostradas as correlações entre estes parâmetros e resultados referentes à salinidade das águas.

As correlações entre as razões de acumulação de água foram positivas entre si, sendo, porém, de pouca utilidade o uso de HM/HP como parâmetro orientador do volume nos reservatórios. Variações topográficas pequenas e a baixa profundidade dos reservatórios dificultam o emprego desta razão para estimar o volume acumulado.

Correlações de AI/AIN com parâmetros de salinidade foram um pouco mais representativas do que aquelas empregando VAC/VT. Tal qual observado no parágrafo anterior, HM/HP mostrou-se de pouca utilidade. Assim, observou-se que nos corpos hídricos com menores volumes relativos, as concentrações salinas foram maiores. Isto corresponde aos resultados do trabalho preliminar de ALMEIDA et al. (2001).

**Tabela 3** – Resultado da análise das águas dos reservatórios localizados na Região Metropolitana de Fortaleza (Maio/2001 a Abril/2002).

PARÂMETROS	RESERVATÓRIO						
	PA	PJ	RI	SN	AC	GA	CA
pH (unidades)	8,1	8,0	7,7	8,0	8,0	7,7	7,9
Cor (UH)	87	59	93	48	49	80	93
Turbidez (UNT)	19	11	18	8	9	16	19
Alcalinidade total (mg CaCO <sub>3</sub> /L)	76	82	71	95	86	62	129
Dureza (mg CaCO <sub>3</sub> /L)	120	172	111	118	72	102	341
Cálcio (mg Ca <sup>2+</sup> / L)	18	27	15	21	14	12	50
Magnésio (mg Mg <sup>2+</sup> /L)	19	24	17	16	10	17	53
Cloretos (mg Cl <sup>-</sup> /L)	130	170	120	105	40	122	418
Sólidos totais (mg/L)	342	519	325	303	196	303	1.044
Sulfato (mg SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> /L)	10	14	7	8	15	7	5
Nitrato (mg N/L)	0,6	0,5	0,5	0,6	0,4	0,6	0,7
Nitrito (µg N/L)	4,0	4,0	3,0	4,0	3,0	3,0	2,0
Amônia total (mg N/L)	0,24	0,25	0,24	0,24	0,22	0,22	0,43
Sódio (mg Na <sup>+</sup> /L)	66	81	62	59	36	64	160
Potássio (mg K <sup>+</sup> /L)	8,4	9,0	7,7	8,4	6,0	7,8	14,2
Condutividade elétrica (µS/cm)	600	760	540	535	300	545	1.440
Clorofila "a" (mg/m <sup>3</sup> )	30	14	29	9	6	36	35
Fósforo total (mg P/L)	0,14	0,08	0,09	0,05	0,09	0,08	0,06
Ortofósforo (mg P/L)	0,07	0,04	0,02	0,01	0,04	0,02	0,02
Coliformes fecais (MNP/100mL)	800	40	85	80	110	705	810
OD (mg/L)	7,4	6,7	6,0	6,5	6,6	7,2	5,4
DBO (mg/L)	2,0	1,3	2,1	1,5	1,0	1,9	1,6

**Tabela 4** – Correlações entre parâmetros operacionais de acumulação de água nos reservatórios e parâmetros de salinidade da água.

Parâmetros	VAC/VT	AI/AIN	HM/HP
VAC/VT	1		
AI/AIN	0,967533	1	
HM/HP	0,579115	0,492482	1
Log CE	-0,61633	-0,63375	-0,16755
Dureza	-0,63305	-0,68955	-0,39297
Cálcio	-0,66221	-0,68924	-0,47101
Cloretos	-0,63426	-0,69857	-0,30819
Sólidos Totais	-0,55071	-0,60453	-0,36558
Sódio	-0,61828	-0,67993	-0,36349
Potássio	-0,52548	-0,60331	-0,22198

Na Tabela 5, são apresentadas as principais equações para estimativa de parâmetros de salinidade a partir dos níveis de água acumulada. Optou-se pelo emprego de fórmulas que melhor representassem as correlações mostradas na Tabela 4. Este tipo de ajuste resultou em coeficientes de correlação maiores que aqueles observados naquela tabela. Cabe lembrar que, tal qual foi observado nos estudos de LARAQUE (1989) e ALMEIDA et al. (2001), os modelos aqui observados apenas consideram o intervalo de estudo.

**Tabela 5** – Principais equações geradas no estudo de correlações entre níveis operacionais e parâmetros qualitativos de salinidade.

EQUAÇÃO	VALOR DE R	Nº da EQUAÇÃO
$\text{Log CE} = -0,259 \text{Ln}(\text{VAC/VT}) + 2,616$	0,6853	1
$\text{Log Cl} = -0,342 \text{Ln}(\text{AI/AIN}) + 2,642$	0,6791	2
$\text{DRZ} = -140,040 \text{Ln}(\text{VAC/VT}) + 63,724$	0,7698	3
$\text{DRZ} = -189,190 \text{Ln}(\text{AI/AIN}) + 76,479$	0,7849	4
$\text{Ca}^{2+} = 12,500 (\text{VAC/VT}) - 0,790$	0,7684	5
$\text{Ca}^{2+} = -28,857 \text{Ln}(\text{AI/AIN}) + 12,069$	0,7635	6
$\text{Cl}^- = -180,090 \text{Ln}(\text{VAC/VT}) + 49,586$	0,7667	7
$\text{Cl}^- = -245,990 \text{Ln}(\text{AI/AIN}) + 64,672$	0,7863	8
$\text{ST} = -376,580 \text{Ln}(\text{VAC/VT}) + 220,960$	0,6742	9
$\text{ST} = -514,090 \text{Ln}(\text{AI/AIN}) + 252,190$	0,6894	10
$\text{Na}^+ = -61,426 \text{Ln}(\text{VAC/VT}) + 38,337$	0,7577	11
$\text{Na}^+ = -83,241 \text{Ln}(\text{AI/AIN}) + 43,837$	0,7742	12
$\text{K}^+ = -3,582 \text{Ln}(\text{VAC/VT}) + 6,695$	0,6404	13
$\text{K}^+ = -5,018 \text{Ln}(\text{AI/AIN}) + 6,956$	0,6765	14

O pH e a alcalinidade total das amostras analisadas apresentaram os menores coeficientes de variação (CVs de 4 e 25%, respectivamente). Por outro lado, para coliformes fecais e nitrito foram observados os maiores valores de CV (206 e 201%, respectivamente). Extremos de CV sugerem poucas possibilidades de correlação com outros parâmetros ou mesmo entre si.

A condutividade elétrica apresentou coeficientes de correlação elevados com potássio, cálcio, magnésio, dureza, sódio, cloretos e sólidos totais, sendo os valores de R iguais a 0,714; 0,846; 0,879; 0,897; 0,900; 0,914 e 0,963, respectivamente. Assim, é possível estimar a partir da medição de CE as concentrações dos parâmetros acima mencionados. Por analogia, os parâmetros relativos a sais também apresentaram coeficientes de correlação significativos entre si, sendo o maior valor (R = 0,986) verificado para o par  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$ , e o menor para  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{K}^+$  (R = 0,805).

Quanto a parâmetros não conservativos, observou-se correlações positivas de amônia com fósforo total e ortofosfato solúvel, com R de 0,546 e 0,609, respectivamente. Fósforo total e ortofosfato solúvel correlacionaram positivamente entre si



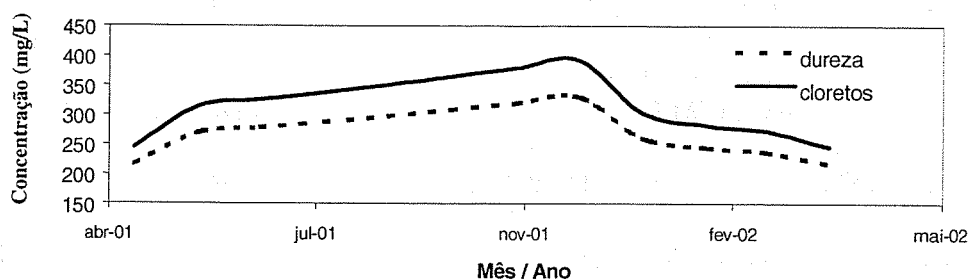
(R = 0,938). Estes parâmetros correlacionaram ainda com sulfato (R = 0,546 e 0,803, respectivamente). Clorofila "a" apresentou correlação positiva com DBO (R = 0,699) enquanto pH correlacionou com OD (R = 0,664). Outros parâmetros não conservativos que apresentaram boa correlação foram turbidez e cor (R = 0,981). Na Tabela 6, são apresentadas as principais equações geradas a partir do estudo de correlações. Os modelos aplicam-se à amplitude dos resultados obtidos nas análises.

**Tabela 6** – Principais equações geradas no estudo de correlações mais representativas entre os parâmetros de qualidade de água nos reservatórios da RMF (Maio/2001 a Abril/2002).

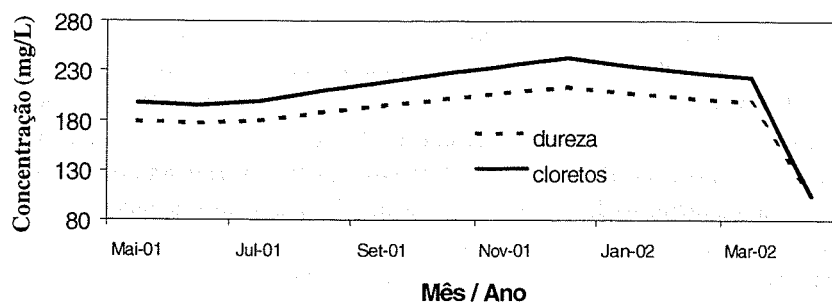
EQUACÃO	VALOR DE R	Nº da EQUACÃO
$DRZ = 0,1808 CE^{1,0294}$	0,913	15
$Cl^- = 0,0137 CE^{1,4311}$	0,926	16
$ST = 0,8061 CE - 89,81$	0,963	17
$K^+ = 0,3228 CE^{0,5114}$	0,740	18
$Ca^{2+} = 0,0363 CE - 0,8554$	0,846	19
$Mg^{2+} = 0,019 CE^{1,0848}$	0,880	20
$Na^+ = 0,1154 CE^{0,9973}$	0,934	21
$Cl^- = 1,252 DRZ - 27,038$	0,973	22
$Na^+ = 0,1237 ST + 20,669$	0,849	23
$Na^+ = 0,3419 Cl^- + 21,119$	0,986	24
$K^+ = 0,1591 Ca^{2+} + 5,191$	0,805	25
$DBO = 0,026 Cla + 1,038$	0,699	26
$Turbidez = 0,18 Cor + 0,794$	0,981	27
$Orto-P = 0,8153 PT - 0,0448$	0,938	28

### Simulação de cenário

A simulação de cenários para os açudes Castro e Sítios Novos é apresentada nas Figuras 2 e 3. Nestas são mostradas as variações de dureza total e cloretos a partir das Equações 3 e 7. Tomou-se como referência os dados de volume acumulado para um ano hidrológico hipotético. Em estudos futuros, os dados reais serão confrontados com a simulação.



**Figura 2** – Simulação das concentrações de dureza total e cloretos no açude Castro a partir das Equações 3 e 7.



**Figura 3** – Simulação das concentrações dureza total e cloretos no açude Sítios Novos a partir das Equações 3 e 7.



Para verificação da consistência dos modelos propostos, apresentam-se nas Figuras 4 e 5 as comparações entre valores medidos e calculados. Para estas, escolheram-se as equações com melhor coeficiente de correlação (Tabela 6), na determinação de sódio e cloretos. As variáveis independentes foram cloretos e dureza, respectivamente. Por outro lado, nas Figuras 6 e 7, são apresentadas as comparações válidas para potássio e DBO, obtidas com coeficientes menos representativos. As variáveis independentes foram, respectivamente, condutividade elétrica e clorofila "a".

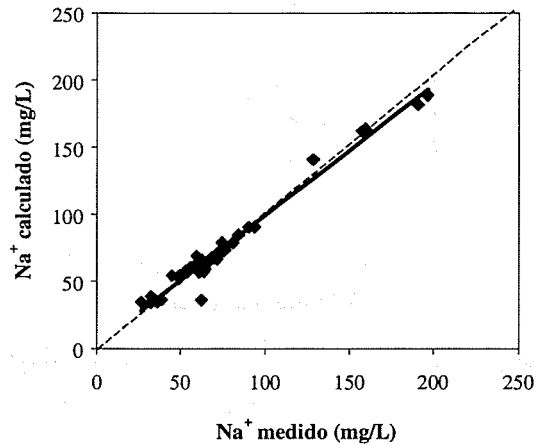


Figura 4 – Comparação entre sódio medido e calculado a partir da concentração de cloretos.

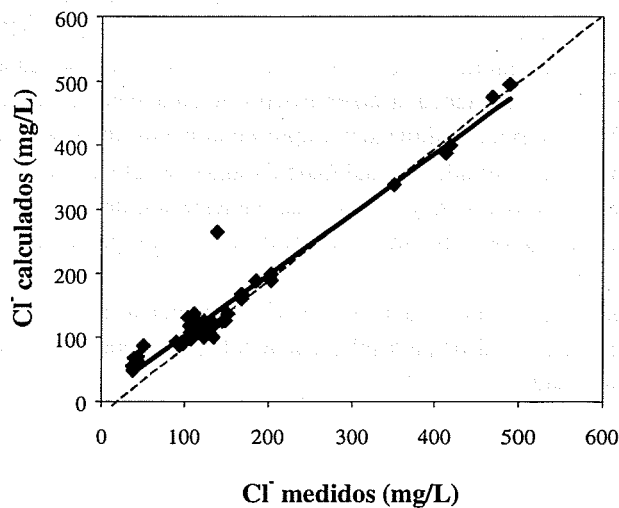


Figura 5 – Comparação entre cloretos medidos e calculados a partir da dureza total.

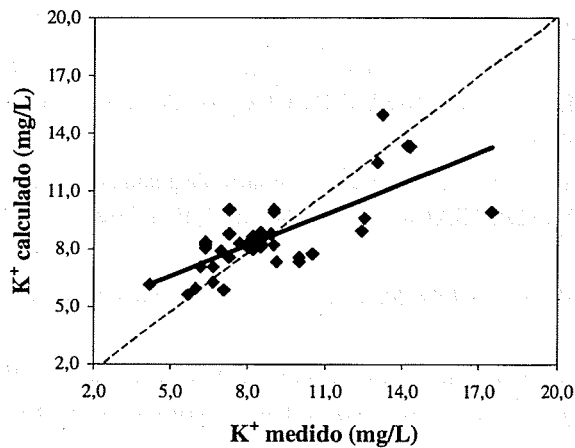


Figura 6 – Comparação entre potássio medido e calculado a partir da condutividade elétrica.

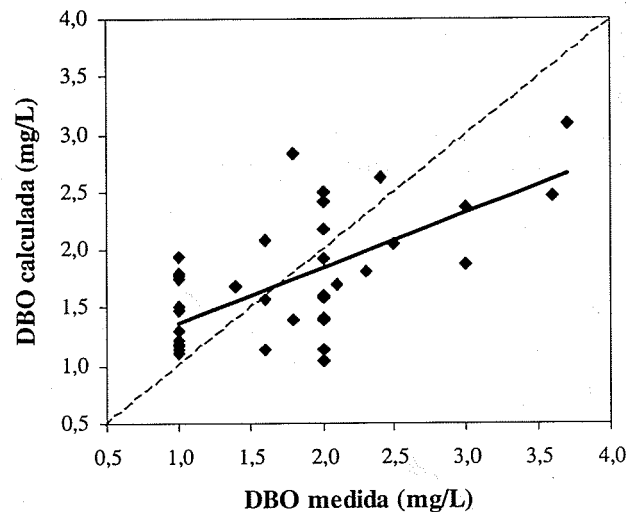


Figura 7 – Comparação entre DBO medida e calculada a partir da clorofila “a”.

## 5 Conclusões

Através da medição de níveis de acumulação de água em reservatórios, pode-se inferir qualidade referente aos sais presentes nesta. As razões área inundável total sobre área inundada em tempo qualquer (AIN/AI), e volume acumulado em tempo qualquer sobre volume total do reservatório (VAC/VT) são úteis, e podem ser empregadas principalmente para estimar dureza total, cálcio, sódio e cloretos. Por outro lado, a razão entre a profundidade média em tempo qualquer e a profundidade média total do reservatório (HM/HP) é de pouca utilidade por apresentar baixos índices de correlação.

A análise estatística pode simplificar o estudo da qualidade da água de reservatórios na RMF. A predição de muitos parâmetros, principalmente os conservativos, permite definir rapidamente um perfil mínimo de qualidade. Possibilita-se, então, que os estudos se concentrem em parâmetros não conservativos e sobre poluentes e contaminantes, que têm maior significado ambiental.

Os níveis de precisão encontrados neste estudo são bons devido à pequena quantidade de dados disponíveis. Os modelos são simples e apresentaram boa representatividade para aplicação local. Estes podem ser estendidos com ampliação da base de dados, aumentando assim a acuracidade.

## Referências

- ALEXANDRE, A. M. B.; DA SILVA, F. J. A. Correlação entre parâmetros de monitoramento da qualidade da água dos principais reservatórios da Bacia Metropolitana de Fortaleza. In: ENCONTRO DE INICIAÇÃO À PESQUISA - UNIFOR, 8., 2002, Fortaleza. *Anais...* Fortaleza: UNIFOR, 2002. p. 447.
- ALEXANDRE, A. M. B.; DA SILVA, F. J. A. Utilidade de níveis operacionais de reservatórios para determinação de parâmetros de salinidade da água. In: ENCONTRO DE INICIAÇÃO À PESQUISA - UNIFOR, 8., 2002, Fortaleza. *Anais...* Fortaleza: UNIFOR, 2002. p. 448.
- ALMEIDA, M. M. M. et al. Monitoramento de reservatórios - cenário da gestão ambiental e a qualidade da água no Ceará. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE GRANDES BARRAGENS, 24., 2001, Fortaleza. *Anais...* Fortaleza: DNOCS, 2001. P. 217-227.
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 18<sup>th</sup> edition. Washington, DC. 1992.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução n 20. Estabelece a classificação das águas doces, salobras e salinas do Território Nacional. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, Poder Executivo. Brasília, DF, 30 jul. 1986.

- CAMPOS, J. N. B. *Dimensionamento de reservatórios - o método do diagrama triangular de regularização*. Fortaleza: UFC, 1996. 83p.
- CAMPOS, J. N. B.; VIEIRA NETO, J. F.; MARTINS, E. S. Vulnerabilidade de sistemas hídricos: um estudo de caso. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*. Rio de Janeiro, v. 2, n. 1, p. 45-58, Jun. 1997.
- CÂNEPA, E. M.; GRASSI, L. A. T. Estado e meio ambiente: o caso das águas no Rio Grande do Sul. *Revista da Associação de Docentes da UFRGS*. Porto alegre, v. 5, n. 11, p. 113-119, Ago. 1995.
- COMPANHIA DE GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS. *Plano de gerenciamento das águas das Bacias Metropolitanas de Fortaleza*. Fortaleza. 2000.
- CRUZ, S. F.; FARIA, H. H. de; GALBRIATTI, J. A. Caracterização de parâmetros qualitativos e quantitativos da água da microbacia água da cachoeira em Paraguaçu Paulista, SP. *Revista da Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola*. Jaboticabal, v. 22, n. 2, maio 2002.
- FUNCEME. *Projeto salinidade - estudo da salinidade das águas em pequenas bacias hidrográficas*. Fortaleza, 2002.
- GASTALDINI, M. do C. C.; PAIVA, E. M. C. de; PAIVA, J. B. D. de. *Inter-relações entre dados de monitoramento de qualidade da água e hidrológicos - Aplicação ao reservatório do Arroio-Vacará Mirim*. Disponível em: <<http://www.ufsm.br/rehidro/dadosnovos/qualidxquant.pdf>>. Acesso em 17 nov. 2002.
- GONDIM FILHO, J. G. C. Sustentabilidade do desenvolvimento do semi-árido sob o ponto de vista dos recursos hídricos. Brasília, DF: Projeto Áridas RH, SEPLAN/PR, 1995. 231 p.
- IPLANCE. *Atlas do Ceará*. Fortaleza: Fundação Instituto de Planejamento do Ceará. 2000.
- LANNA, A. E. *Gerenciamento de bacias hidrográficas - conceitos, princípios e aplicações no Brasil*. Porto Alegre: IPH / FRGS. 1993. 227p.
- LARAQUE, A. *Estudo e previsão da qualidade da água de açudes do Nordeste semi-árido brasileiro*. Recife: SUDENE. 1989. 65p.
- QUEIROZ, G. H. de. *Salinização em açudes no município de Tauá - Ce*. 2000. 113f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

## Agradecimento

Os autores agradecem à colaboração da Superintendência Estadual do Meio Ambiente - SEMACE e à Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos do Ceará - COGERH.

## SOBRE OS AUTORES

### **Fernando José Araújo da Silva**

Engenheiro Civil pela Universidade de Fortaleza - UNIFOR. Mestre em Engenharia, área de Engenharia Sanitária e Ambiental pela Universidade Federal da Paraíba - UFPb. Professor Assistente IV do curso de Engenharia Civil da UNIFOR.

### **Alan Michell Barros Alexandre**

Engenheiro Civil pela Universidade de Fortaleza - UNIFOR. Mestrando em Engenharia Civil, área de Engenharia Hidráulica e Ambiental na Universidade Federal do Ceará - UFC.