

XXIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÍCOS

MODELO DE CAPACIDADE COMPARTILHADA: UM NOVO MÉTODO DE GESTÃO DE RESERVATÓRIOS E SUA APLICABILIDADE NA REGIÃO SEMIÁRIDA DO BRASIL

Felipe Viana Pimentel¹; Ticiania M. Carvalho Studart² & Cleiton da Silva Silveira²

RESUMO – O sistema de gestão de reservatórios utilizado na Austrália é denominado de Modelo Capacidade Compartilhada, que tem como principal característica a partilha do volume existente reservatório e ao aporte líquido no sistema, pode apresentar eficiência significativa para a região semiárida do Nordeste Brasileiro. Nesse trabalho é realizada uma aplicação desse sistema de gestão ao Vale do Jaguaribe, com o intuito de analisar a viabilidade desse método aos regimes de precipitação com distribuição temporal irregular. Para isso um modelo numérico foi feito com base nas necessidades hídricas das culturas irrigadas além de análises referentes aos volumes do reservatório e seu aporte.

ABSTRACT – The reservoir management system used in Australia is called the Shared Capacity Model, which has as main characteristic the sharing of the existing reservoir volume and the net contribution in the system, can present significant efficiency for the semi-arid region of the Brazilian Northeast. In this work an application of this management system to the Jaguaribe Valley is carried out, with the purpose of analyzing the viability of this method to precipitation regimes with irregular temporal distribution. For this, a numerical model was made based on the water needs of the irrigated crops, besides analysis of the reservoir volumes and their contribution.

Palavras-Chave – Gestão de Reservatório, Irrigação, Banabuiú

1. INTRODUÇÃO

A Austrália, um país que sofre com a escassez de água, implementou um novo modelo de gestão de reservatórios. Para cada usuário, há uma atribuição percentual na capacidade do reservatório bem como no aporte líquido ao reservatório, não sendo necessariamente o mesmo percentual para as duas capacidades. O aporte líquido leva em consideração a entrada, o volume infiltrado e a parte evaporada, sendo o aporte líquido a quantidade de água que entra no reservatório desconsiderando as perdas por infiltração e evaporação. Um exemplo para demonstrar isso é que um dado usuário pode ter uma percentagem do reservatório de 1% mais a partilha de 2% dos aportes líquidos no reservatório (DUDLEY e MUSGRAVE, 1988).

1) Doutorando em Engenharia Hidráulica e Ambiental pela Universidade Federal do Ceará

2) Prof. Dr. do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da Universidade Federal do Ceará

Essa relação de divisão leva em consideração diversos aspectos, sendo os mais importantes a perenidade ou não da cultura e o volume de água necessário para a irrigação. Culturas permanentes necessitam da “certeza” da disponibilidade de água para sua continuidade, já que um período sem irrigação leva a anos de prejuízo. Em contrapartida, culturas temporárias podem ter seu aporte de água suspenso com uma compensação financeira. Já no que diz respeito aos volumes de água necessário para a irrigação, quanto maior o volume necessário, maior é o volume partilhado no reservatório, porém será menor seu volume de aporte. O contrário ocorre com as culturas que necessitam de uma menor quantidade de água na irrigação. Quão menor for a necessidade hídrica, menor será seu volume no reservatório, mas seu aporte será maior. A justificativa para essa regulamentação se dá por conta das diferenças das necessidades hídrica. Uma cultura que necessita de muita água na irrigação deverá ter um grande volume, mas dependerá de condições climáticas favoráveis para a manutenção de seu volume no reservatório. Culturas com menor necessidade hídrica na irrigação terá um menor volume, mas terá uma garantia de aporte, mesmo em anos com menor precipitação devido seu percentual no aporte ser maior (DUDLEY e MUSGRAVE, 1988).

Essa forma de partilha favorece às culturas com maior eficiência hídrica. A partilha da capacidade é semelhante à contabilidade contínua, exceto que as licenças de transmissão e operação de perda estão contidas dentro da participação de cada indivíduo. A estimativa deste subsídio é bastante complexa para cada usuário, porque isso depende de onde o usuário está localizado no sistema. Os usuários mais perto de afluentes e ao armazenamento de alimentação terão um pequeno subsídio de perda, enquanto os usuários no final do sistema terão um muito maior subsídio perda (DUDLEY, 1992).

Em regiões semiáridas como o Nordeste do Brasil, o gerenciamento racional e otimizado da água passa a ser absolutamente imprescindível, face às peculiaridades climáticas e ambientais que condicionam e, por vezes, limitam o seu desenvolvimento socioeconômico (SEAGRJ, 2002). Dessa forma, nos últimos anos, o Estado do Ceará vem promovendo um importante esforço no sentido de obter uma adequada política de gerenciamento dos recursos hídricos, que o habilite a equacionar a oferta e a demanda da água, proporcionando meios para que esta seja usada de forma racional e justa em todo o território do Ceará. Justa, no sentido de que a água seja, prioritariamente, destinada às atividades vitais; racional, no sentido de que seu uso seja planejado à luz da alta tecnologia de recursos hídricos (COGERH, 2009).

Nesta perspectiva, o presente trabalho pretende analisar a implementação do modelo de capacidade compartilhada no Estado do Ceará. O Ceará, assim como a Austrália, é caracterizado por alta variabilidade temporal e espacial na distribuição de chuvas, alta variabilidade das vazões anuais

(a maior do planeta, com coeficientes de variação superiores a 1,0), altas taxas de evaporação e rios intermitentes. Tais características fazem com que as duas regiões enfrentem severas e recorrentes secas. A gestão dos recursos hídricos nessas regiões torna-se, portanto, uma questão desafiadora, em função das incertezas envolvidas.

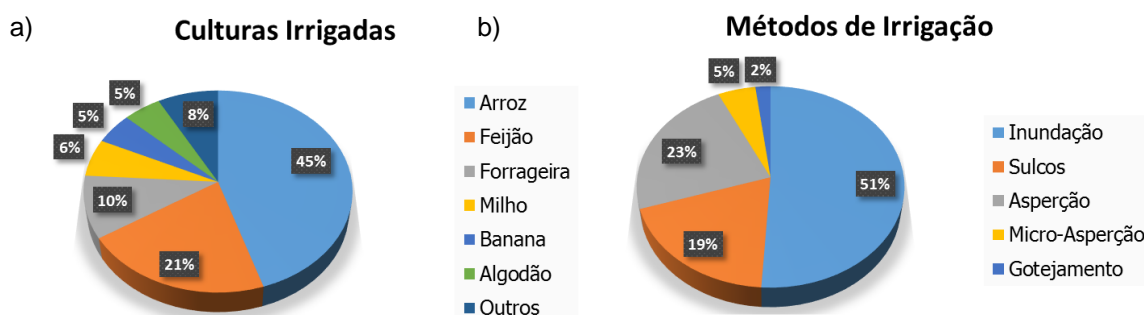
2. MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

A Bacia Hidrográfica do Rio Jaguaribe tem uma área de drenagem de 72.000 km², representando cerca de 47% da área do Estado do Ceará. É subdividida em cinco sub-bacias (Alto, Médio e Baixo Jaguaribe, Salgado e Banabuiú) e composta por 82 municípios (FREITAS, 2010). Os açudes Orós e Banabuiú perenizam as sub-bacias do Médio, Baixo Jaguaribe e Banabuiú, formando os vales do Jaguaribe e Banabuiú. Nestes vales, foram implantados os primeiros perímetros de irrigação do Estado pelo Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS) na década de 70, em Morada Nova e Icó-Lima Campos, totalizando uma área de aproximadamente 7.000ha (OLIVEIRA, 2008). O Perímetro Irrigado de Morada Nova está localizado nos municípios de Morada Nova e Limoeiro do Norte, no vale do Rio Banabuiú, em áreas predominantemente de aluviões. O suprimento hídrico do perímetro provém do reservatório Arrojado Lisboa (Banabuiú) através de válvulas dispersoras que perenizam o rio (SEAGRI, 2002).

Nestas áreas predominam culturas irrigadas com métodos de baixa eficiência no uso da água (alto consumo de água, baixo valor bruto da produção e pequena geração de empregos), salientando-se a cultura do arroz inundado, ocupando 45% delas (Figura 1a). Por outro lado, a distribuição dos métodos de irrigação apresenta uma predominância dos sistemas de irrigação por superfície 70%, enquanto a irrigação localizada representa somente 7% dos usuários (Figura 1b) (COGERH, 2009).

Figura 1. Principais Culturas Irrigadas no Vale do Jaguaribe e seus métodos de irrigação.



Fonte: Companhia de Gestão de Recursos Hídricos – COGERH, 2009.

Necessidade de irrigação líquidas das culturas

Na Tabela 1 são apresentadas as necessidades de irrigação líquidas (NIR_L), em m^3/ha , para as principais culturas do vale. Estes valores foram estimados com base nas mais recentes metodologias de planejamento e projeto de irrigação da Organização para Alimentação e Agricultura (FAO). Os valores de NIR_L para as culturas permanentes são referentes ao período de julho a dezembro (2º semestre) (SEAGRI, 2002).

Tabela 1. Necessidades hídricas das principais culturas existentes no Vale do Jaguaribe para o segundo semestre.

Cultura	Ciclo (dias)	NIR_L (m^3/ha)
Arroz	120 a 150	10.000
Feijão	60	5.065
Forageira	180	10.450
Milho	60	6.500
Banana	180	7.562
Algodão	150	6.155
Mamão	180	7.562
Melão	70	4.360

Necessidades de irrigação bruta

Com as informações do Cadastro dos Usuários de Água Bruta da COGERH, foram determinadas as necessidades hídricas de cada cultura, para que fosse, também, estimada a demanda total de água de irrigação para toda a área irrigada nos Vales do Jaguaribe e Banabuiú. Vale ressaltar que as necessidades hídricas foram calculadas para o Vale do Jaguaribe e estendidas para o Vale do Banabuiú, tendo em vista suas características bastante semelhantes.

3. RESULTADOS

A Tabela 2 mostra as necessidades de irrigação bruta (NIR_B), calculadas a partir dos valores (NIR_L) para as mesmas culturas, considerando os principais métodos de irrigação preconizados para aquelas culturas.

Na Tabela 3, apresenta os valores calculados das Necessidades de Irrigação Totais (NIR_T), em m^3 , em função da área ocupada por cada cultura em função dos valores de NIR_B , em m^3/ha .

Tabela 2. Necessidade de Irrigação Bruta (NIR_B) em m³/ha. Dados referente ao 2º semestre.

Cultura	Inund.	Fixa	Sulco	Aspersão convenc.	Pivô	Micro aspersão	Gotej.
Ea(%)	60	70	70	75	75	85	87
Arroz	16.670	-	-	-	-	-	-
Feijão	-	-	7.240	6.760	6.760	-	-
Forageira	-	14.930	14.930	13.930	-	-	-
Milho	-	-	9.290	8.670	8.670	-	-
Banana	-	-	10.800	10.082	-	8.900	8.900
Algodão	-	-	-	8.210	8.210	-	-
Mamão	-	-	10.800	10.800	-	8.900	8.900
Melão	-	-	6.230	-	-	-	5.010

Tabela 3. Necessidades Hídricas Totais. Dados referente ao 2º semestre.

Culturas	Área		Necessidades hídricas (m ³ /ha)	Necessidades hídricas totais		
	ha	%		m ³	%	% acum.
Arroz	8.550	45	16.670	142.528.500	59	59
Feijão	3.990	21	7.240	28.887.600	12	71
Forageira	1.900	10	14.930	28.367.000	12	83
Milho	950	5	9.290	8.825.000	4	86
Algodão	570	3	8.210	4.679.700	2	88
Banana	1.520	8	10.800	16.416.000	7	95
Mamão	760	4	8.900	6.764.000	3	98
Melão	760	4	6.230	4.734.800	2	100
TOTAL	19.000	100	12.694	241.202.600	100	-

Observa-se que seriam necessários 241,2 hm³ para atender a demanda de água das culturas no Cenário 1999/2000, o que exigiu a liberação de uma vazão média de 18m³/s no período de julho 1999 a janeiro 2000. Devido essa demanda, em 1999/2000 necessitou da liberação de uma vazão média de 18m³/s no período de julho 1999 a janeiro 2000, totalizando um volume de 373hm³, considerando as perdas por evaporação e infiltração. Valor esse maior que o necessário em função da demanda. Dentre as regras utilizadas, a principal consiste em que os produtores que necessitam de maior quantidade de água terão um percentual maior no reservatório, mas um percentual menor do aporte líquido e enquanto os que tem menor necessidade hídrica para a irrigação terá um menor percentual no reservatório, mas um aporte líquido maior.

Em função da Tabela 3, foi dividido em três grupos em função do volume de água necessária por hectare irrigado, sendo:

- Grupo I: Arroz e Forrageira, sendo necessário entre 14.930 e 16.700 m^3/ha ;
- Grupo II: Milho, Algodão, Banana e Melão, sendo necessário entre 8.210 e 10.800 m^3/ha ;
- Grupo III: Feijão e Melão, sendo necessário entre 6.230 e 7.240 m^3/ha .

Nesse caso o volume foi dividido entre esses três grupos, mas em um modelo mais complexo, devemos equacionar a relação em função de cada cultura irrigada no perímetro.

Essa divisão de grupos foi feita tomando-se em conta o volume de água necessária por hectare irrigado (Tabela 3) onde o grupo 3 foi tomado um volume baixo (abaixo de 8.000 m^3/ha), o grupo 2 com um volume moderado (entre 8.000 e 12.000 m^3/ha) e o grupo 1 com volume alto (acima de 12.000 m^3/ha).

Conforme a Tabela 4, dentre esses grupos foi associado um índice crescente para o volume do reservatório e um volume decrescente para o aporte.

Tabela 4. Índices de referências para os cálculos dos volumes distribuídos.

Grupo	Reservatório	Aporte Líquido
Grupo I	1,00	0,8130
Grupo II	0,75	1,2195
Grupo III	0,50	1,6260

Esses índices foram obtidos através das seguintes relações; para os grupos I, II e III, foram associados os índices representativos ao volume associado no reservatório em função da maior necessidade hídrica e das subdivisões dos três grupos. Esses índices foram calculados através da regressão linear múltipla dada por:

$$V = a_0 + a_1.P_1 + a_2.P_2 + a_3.P_3 \quad \text{Eq. 1}$$

onde: V é o volume alocado por grupo, a_0 é o termo independente, a_n o coeficiente de regressão do grupo n e P_1 o percentual total do grupo n .

Um critério utilizado nesse cálculo foi que o aporte seria totalmente dividido, porém para o volume do reservatório haveria uma reserva estratégica, que para situações específicas podem ser denominadas como volume morto, totalizando 90% de distribuição e 10% de manutenção.

Dessa forma, a Tabela 5 mostra as divisões percentuais como:

Tabela 5. Percentual referente a alocação dos volumes do reservatório e do aporte líquido.

Grupo	Reservatório	Aporte líquido
Grupo I	71%	57,723%
Grupo II	12%	19,512%
Grupo III	7%	22,764%
TOTAL	90%	100%

Com as divisões percentuais dos três grupos, foi utilizado o *Soil Moisture Accounting Procedure* – SMAP (Lopes *et. al.*, 1981) para poder verificar a vazão do reservatório e, posteriormente, a viabilidade do método apresentado.

Para alimentar o SMAP foram obtidos dados de precipitação mensal para o reservatório do Banabuiú entre janeiro de 2000 a dezembro de 2010, com o intuito de analisar o aporte do reservatório bem como as divisões percentuais no processo. Esse período é relevante pois demonstra os regimes seco, normal e úmido de precipitação sobre a região.

A equação final tem como base os termos de entrada, desconsiderando as perdas com evaporação, menos a saída referente a necessidade hídrica de cada grupo.

Devido à sequência de anos de secas na região Nordeste do Brasil, mesmo com reduções significativas no volume disponibilizado, foi possível equilibrar a situação, reduzindo-se o volume de água destinado a cada usuário proporcionalmente à vazão liberada.

A Tabela 6 mostra, no entanto, que para o ano de 2001, como a redução foi de aproximadamente 50% do volume com relação ao praticado no ano anterior, se o procedimento for o mesmo, boa parte das culturas perenes existentes no Vale não terão como ser irrigadas, o que ocasionaria um grave prejuízo aos usuários que investiram na região e à fruticultura, recém iniciada na bacia.

Tabela 6. Déficit hídrico para o 2º semestre de 2001.

Necessidades Hídricas das Culturas	241hm ³
Disponibilidade	127hm ³
Déficit Hídrico	114hm ³

Por outro lado, observa-se a existência de extensas áreas irrigadas que utilizam sistemas de irrigação ou culturas não compatíveis com a disponibilidade de água da região, impondo um consumo que acaba por dificultar ainda mais o equilíbrio entre a oferta e a demanda na bacia.

Na verdade, a principal cultura explorada no vale é o arroz, correspondendo a 45% da área cultivada, para a qual se emprega o método de irrigação por inundação. De tal modo que, em 51%

das áreas irrigadas é utilizada a irrigação por inundação. O arroz é, portanto, responsável por 59% do consumo de água para irrigação no Vale do Jaguaribe.

Conforme se vê na Tabela 7, por outro lado, o arroz, entre as culturas estudadas, é a que apresenta maior consumo de água, menor valor bruto da produção, oferta menor número de empregos diretos e demonstra menor eficiência hídrica. Diante destes fatos verifica-se uma situação insustentável para a manutenção dessa cultura na região irrigada em análise (SEAGRI, 2002).

Tabela 7. Impactos socioeconômicos da cultura de arroz comparada a outras culturas.

Cultura	Consumo de Água (m³/ha)	Valor Bruto da Produção (R\$/há/safra)	Empregos Diretos (homens/há/safra)	Eficiência Hídrica (R\$/1000m³)
Arroz	16.670	1.200	0,8	72
Melão	5.000	15.000	1,5	3.000
Abóbora	5.500	10.000	1	1.818
Melancia	4.500	7.000	1	1.556
Pimenta	6.000	12.000	2,5	2.000
Tomate	6.000	32.000	2	5.333
Pimentão	6.000	8.000	1,5	1.333

A Figura 2 mostra a curva dos grupos I, II e III, sendo demonstrada nas cores azul, verde e vermelha, respectivamente e suas necessidades hídricas, simulados a partir da proposta do Modelo Capacidade Compartilhada. A linha pontilhada caracteriza a necessidade de cada grupo.

Os cálculos mostram que as culturas referentes aos grupos II e III têm água suficiente. No entanto o grupo I, composto pelas culturas de arroz e forrageira, que tem necessidades hídricas altas (16,670 e 14.930m³/ha, respectivamente) tem suas necessidades desprovidas durante os períodos de estiagem.

Um dos principais é a necessidade de estudos mais aprofundados que reflitam a um índice de partilha mais eficiente que a regressão linear múltipla, realizando uma distribuição mais equitativa aos que mais necessitam da água para a irrigação. Contudo, vale salientar que o período estudado (2000 – 2010), conforme descrito anteriormente, apresenta períodos úmido, normal e seco, em relação as médias climatológicas para a região, mas nada comparado ao período 2012 – 2015, cujo período se estende em secas. Uma análise mais criteriosa em relação aos eventos extremos de seca faz-se importante na análise da viabilidade desse sistema.

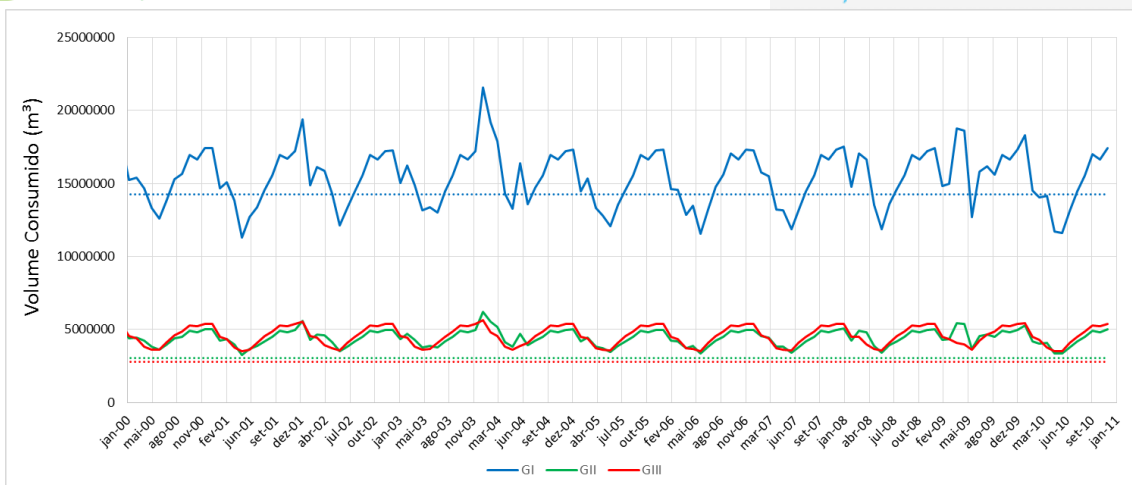


Figura 2. Disponibilidade hídrica a partir da simulação simplificada de Modelo Capacidade Compartilhada.

4. CONCLUSÃO

Com esse estudo, fica claro que o cultivo de culturas com alto índice de necessidade hídrica não é condizente com a região que sofre frequentemente com anos de seca, sendo por diversas vezes severa. Da mesma forma são apresentadas culturas que já estão em cultivo na região com necessidades hídricas bem menores, valor agregado maior e maior geração de emprego. A transição das culturas de arroz e forrageira é de fundamental importância para que a região não sofra com o desabastecimento para todas as culturas em detrimento de uma.

Contudo, faz-se necessário estudos mais aprofundados baseados em modelos computacionais que simulem as diversas situações e analise se o Modelo Capacidade Compartilhada é realmente eficaz, mas é importante e notório que a disparidade de alocação dos recursos hídricos em detrimento de uma dada cultura pode levar outras a escassez em períodos de grande estiagem. Isso pode acarretar em um grande prejuízo se destacarmos as culturas “não perenes”.

Esse método apresenta-se eficaz se considerarmos a manutenção de culturas que tenham um consumo hídrico menor além de um sistema de irrigação mais eficiente.

Outro fator que se deve analisar é a eficiência desse método com regimes que utilizam tamanho volume de água como os apresentados no grupo I. Esse método é oriundo da Austrália, um país tipicamente seco com clima semelhante ao nordeste brasileiro. As culturas lá produzidas são basicamente a fruticultura, que apresenta uma eficiência na irrigação muito maior e, conseqüentemente, consumindo menor quantidade de água no processo. Um estudo que componha uma maior área de irrigação composto apenas por culturas semelhantes aos grupos II e III podem demonstrar uma redução no consumo de água e um aumento econômico para a região.

Por fim, a análise desse novo método de gestão de recursos hídricos apresenta novidades no que se refere a partilha da água entre os usuários, mas que necessita de um grande estudo que envolva métodos computacionais mais eficientes, um sistema de outorga por grupos uma gestão participativa cada vez mais efetiva em função dos seus principais interessados.

REFERÊNCIAS

- ALOUZE, C. M. *The Optimality of Capacity Sharing in Stochastic Dynamic Programming Problems of Sgared Reservoir Operation*. ISSN.: 0157-0188, 1989.
- COGERH. *Grupo de Trabalho da Irrigação – GTI. Cobrança pelo Uso dos Recursos Hídricos pelo Setor de Irrigação nas Bacias Hidrográficas do Estado do Ceará. Relatório Final*. 2009
- DUDLEY, N. J.; MUSGRAVE, W. F. *Capacity Sharing of Water Reservoirs*. Water Resources Research, v. 24, n. 5, pp. 649-658, 1988.
- DUDLEY, N. J. *Urban Capacity Sharing-Na Innovative Property Right for Maturing Water Economies*. Natural Resources Journal. v. 30, pp. 381-402, 1990.
- DUDLEY, N. J. *Volume Sharing of Water Reservoirs*. Water Resources Research, v. 24, n. 5, pp. 641-648, 1988.
- DUDLEY, N. J. *Water Allocation by Markets, Common Property and Capacity Sharing: Companions or Competitors?* Natural Resources Journal. v. 32, pp. 757-778. 1992.
- FREITAS, BERNADETE M. C. *Marcas da modernização da agricultura no território do Perímetro Irrigado Jaguaribe-Apodi: Uma face atual da reestruturação sócio espacial do Ceará*. Mestrado Acadêmico em Geografia, Universidade Estadual do Ceará. 2010.
- OLIVEIRA, MARCÍLIO CAETANO. *Modelos de alocação e realocação de água: um estudo de caso do programa “águas do vale” nos rios Jaguaribe e Banabuiú*. Monografia, UFC, 2008.
- SEAGRI. *Como surgiu e o que elaborou o programa águas do vale*. Fortaleza: SEAGRI. 2002.
- SRH. *Plano de Uso Racional da Água para Irrigação nos vales do Jaguaribe e Banabuiú*. Fortaleza: SRH/SEAGRI. 2001.