

AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE ATENDIMENTO DE UMA ÁREA PASSÍVEL DE IRRIGAÇÃO DE 10 000 ha PELO RESERVATÓRIO DE JATAÚBA-PE

Aldo S. O. Albuquerque¹; Sergio R. A. Farias²;

Rosires C. Curi³ & Wilson F. Curi⁴

Resumo - Este trabalho tem por objetivo analisar o potencial de atendimento de uma área passível de irrigação de 10.000 ha com os recursos hídricos do reservatório de Jataúba, no agreste do estado de Pernambuco. A análise é feita com o uso do modelo de otimização CISDERGO (Cropping and Irrigation System Design with Optimal Reservoir and Groundwater Operation) desenvolvido por Curi e Curi (2001), o qual otimiza, conjuntamente, o uso da água do reservatório e as áreas a serem irrigadas, segundo um plano cultural pré-estabelecido, visando a maximização da receita líquida obtida com agricultura irrigada. São levadas em consideração as condições físicas, legais, operacionais e de sustentabilidade hídrica do empreendimento. O problema consta de 40 variáveis de decisão e 204 equações de restrição. São criados cenários para análise de variações climáticas e de condições iniciais do sistema. Os resultados demonstraram que é de vital importância o aproveitamento da água para irrigação, caso contrário as perdas evaporativas serão muito altas, uma vez que elas chegam até 34,89 % da afluência média ao reservatório para o cenário seco, numa situação de aproveitamento da água com irrigação de 85,51 ha. A área irrigada com culturas perenes não deve ser superior a 80 ha sob o risco de haver perdas no período seco.

Abstract - This work aims to analyze the optimal use of Jatauba reservoir water, which is located in the agreste region of the Pernambuco state, in a potential irrigated cropland of 10.000ha. The software CISDERGO, which stands for Cropping and Irrigation System Design with Optimal Reservoir and Groundwater Operation and has been developed and updated by Curi and Curi (2001), was used to obtain the optimal reservoir operation and to determine the areas of a selected set of crops that generates an optimal net profit, according to a pre-defined cultural planning. All physical, legal and operational constraints, including the sustainability, were taken into account.

¹ Mestre em Recursos Hídricos, CCT-UFCG, aldosydney@yahoo.com.br Departamento de Engenharia Civil, Centro de Ciências e Tecnologia- CCT, Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, Caixa Postal 0016, 58109-970 - Campina Grande-Paraíba, Telefone: (083) 310 1157.

² Mestrando em Recursos Hídricos, CCT-UFCG, sfarias7@bol.com.br

³ Profa.do Dept. de Eng. Civil, CCT-UFCG, rosires@dec.ufpb.br

⁴ Prof.do Dept. de Física, CCT-UFCG, wcuri@df.ufpb.br

The formulation of the problem required a definition of 40 decision variables and 204 constraints. Different climatic scenarios and initial conditions were used to analyze the system. The results have shown that is of vital importance to use the Jatauba reservoir's water for irrigation activities, otherwise evaporation losses are very high, getting up to 34.89% of the reservoirs' inflow in a dry climate scenario. Moreover it is recommended to have areas less than 80 ha for plantation of perennial crops.

Palavras-chave - operação de reservatórios, otimização, irrigação

INTRODUÇÃO

O reservatório Jataúba, localizado na parte alta da bacia hidrográfica do rio Capibaribe - PE, tem em seu contorno manchas de solo aptas para irrigação, que somam, aproximadamente 10.000 ha. A região em que o reservatório está inserido, é a região do agreste pernambucano com indicadores sócio-econômicos a caracterizam como uma região pobre, alta taxa de desemprego e economia basicamente formada por agricultura de subsistência e de sequeiro. Uma das formas de ativar o desenvolvimento econômico e social é através da implantação da agricultura irrigada nas áreas com potencial para irrigação. No entanto, por ser uma região de clima semi-árido, que é caracterizado por uma baixa pluviometria e alta taxa de evapotranspiração, deve-se tomar o cuidado de se estabelecer áreas irrigadas compatível com a garantia da disponibilidade de água para promover um desenvolvimento da atividade agrícola irrigada sustentável.

Os benefícios sócio-econômicos oriundos da implantação e manutenção de áreas agrícolas irrigadas advêm do incremento na oferta de emprego e desenvolvimento de todo um complexo de atividades agregadas, como comércio, transporte e agroindústria, sem falar nos outros serviços de uma forma geral. No entanto, esta atividade requer vultuosos investimentos, seja pelo setor público ou privado. Portanto, é necessário, sob pena de enormes prejuízos financeiros e sociais, que seja efetuada uma avaliação criteriosa da possibilidade de atendimento de sua demanda frente a disponibilidade hídrica em termos de qualidade e quantidade.

O uso de modelos de otimização que permitam a otimização conjunta, tanto da operação do manancial abastecedor, no caso o açude Jataúba, quanto da seleção apropriada de áreas para as culturas a serem implantadas, são ferramentas imprescindíveis para extrair o máximo benefício destes recursos hídricos. Por outro lado, a implantação de culturas perenes, que são mais dispendiosas, e cuja lucratividade advém de um período de vários anos, requer uma maior segurança com respeito a sua sobrevivência durante períodos longos de estiagem, que é

característica da região. Dentro deste contexto, se faz necessário o estudo de cenários que envolvem períodos de estiagem e as condições iniciais do manancial de água para se estabelecer a escolha das áreas máximas e ótimas das culturas perenes a serem plantadas.

Portanto, o objetivo deste trabalho é avaliar o potencial de atendimento hídrico ótimo de uma área com aptidão para agricultura irrigada de cerca de 10.000 ha sob diversas condições climáticas e de condições iniciais. O atendimento hídrico ótimo será avaliado com base na maximização da receita líquida advinda das culturas irrigadas. O modelo de otimização é o CISDERGO (Cropping and Irrigation System Design with Optimal Reservoir and Groundwater Operation) desenvolvido por Curi e Curi (2001) e que leva em consideração todos os aspectos, físicos, estruturais, legais e operacionais do sistema, na forma de 204 equações de restrição. O sistema, neste caso, é caracterizado pelo conjunto reservatório e áreas irrigadas. São definidas 40 variáveis de decisão.

A REGIÃO EM ESTUDO

A região em estudo está inserida na bacia hidrográfica do rio Capibaribe e localiza-se entre as latitudes 7°47' e 8°17' sul e longitude de 35° 56' e 36°42', a oeste de Greenwich. Limita-se ao norte pelo Estado da Paraíba, ao sul com a bacia hidrográfica do rio Ipojuca, a leste com a parte média da bacia do rio Capibaribe e a oeste com o Estado da Paraíba e a bacia hidrográfica do rio Ipojuca, conforme mostra a Figura 1. Tal área contém o reservatório de Jataúba cujo volume máximo é de 935.320m³. A precipitação média anual é da ordem, para toda a região do alto Capibaribe, de 600 mm e a lâmina anual média evaporada em torno de 1850mm. A litologia dominante é composta de rochas do complexo gnáissico-migmatítico e granitóide, com destaque para os granitos migmatíticos e granodioritos. A região em estudo contém 15 postos pluviométricos obtidos do trabalho realizado pela SUDENE intitulado Dados Pluviométricos Mensais do Nordeste (1990). As vazões usadas neste estudo foram geradas pela metodologia Orstom-SUDENE (Molle e Cadier, 1992).

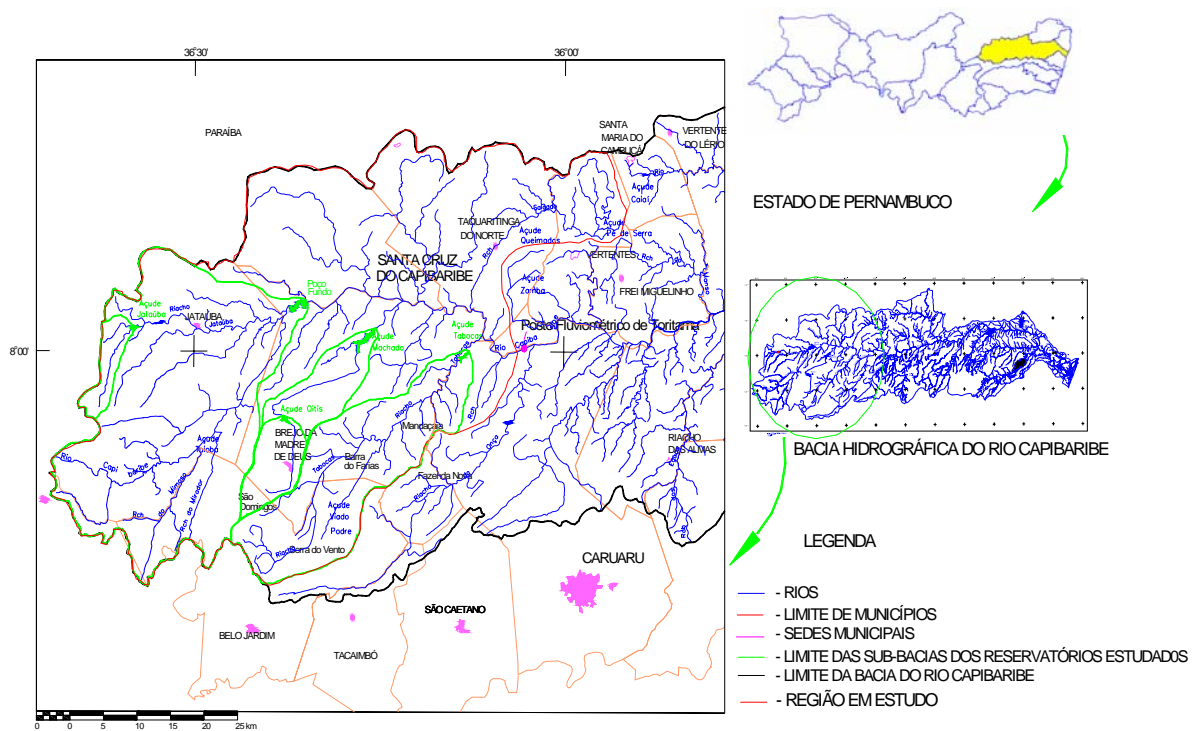


Figura 1 – A região em estudo

O MODELO DE OTIMIZAÇÃO

O CISDERGO é um programa de otimização baseado em programação linear recursiva (isto é , leva em consideração a natureza não linear do problema de forma recursiva), desenvolvido no ambiente MATLAB por Curi e Curi (2001), destinado a maximizar múltiplos benefícios ou minimizar custos (objetivos) relativos à implantação ou melhoramento da operação, de forma integrada, de um ou mais perímetros irrigados com uma ou mais fontes de água.

O CISDERGO foi projetado para se ter um ou mais perímetros irrigados, sendo que cada um deles tem sua estação ou dados meteorológicos, suas limitações físicas de disponibilidade de terreno e de áreas plantadas para cada tipo de cultura. Os dados meteorológicos servem para calcular a precipitação efetiva disponível para as culturas mensalmente. Estes perímetros podem ser subdivididos em unidades de produção que, por sua vez, podem ser representativas de diferentes tipos de terrenos, níveis ou cotas, usuários ou qualquer outra particularidade que faça com que tenham características diferentes de limitações de disponibilidade de áreas físicas ou com plantações de certos tipos de culturas, etc. Uma unidade de produção não pode pertencer a mais de um perímetro irrigado. Pode ser definido para cada unidade de produção o tipo de fonte de água que irá suplementar os requerimentos das necessidades hídricas das culturas.

As fontes de água são quantificadas em termos da quantidade e qualidade de água, custos de implantação e manutenção e são classificadas com relação ao tipo delas. Elas podem ser canais ligados diretamente a um reservatório ou à calha do rio à jusante deste e poços ou rios que venham

a passar nas vizinhanças do perímetro irrigado. No reservatório é feito o balanço hídrico mensal considerando os dados de vazões afluentes, precipitações, evaporações, demandas fixas e vazões nos canais ligados diretamente ao reservatório, descarregadas na calha do rio à sua jusante e vertidas. Os poços, por sua vez, tem suas limitações mensais designada em termos de sua capacidade de vazão e em termos da disponibilidade hídrica mensal do lençol freático a que pertence. Estes lençóis freáticos agrupam um ou mais poços. Os rios podem ser tratados como poços que não tenham profundidade.

A captação de água para irrigação das culturas necessita, quando não é possível ser feita a irrigação por gravidade, de um sistema de bombeamento apropriado. Este sistema de bombeamento deve ser capaz de satisfazer os requerimentos de recalque, sucção, vazão e custo (de energia) necessários a levar a água da fonte até a cultura. Para isso, são levadas em consideração as cotas de cada unidade de produção e das fontes as perdas de pressão no sistema de irrigação, assim os requerimentos de recalque de fontes do tipo poços. Pode-se ainda selecionar que sistema de bombeamento pode ser utilizado em cada fonte de água e unidade de produção.

Finalmente, deve-se prover os dados referentes às culturas a serem cultivadas em cada unidade de produção ou perímetro irrigado. Estes dados relacionam-se a sua capacidade de produção, custos e receitas, requerimentos hídricos, etc. Ainda, sob o aspecto econômico, procurou-se permitir a inclusão da correção monetária anual e das tendências anuais ou sazonais de aumento do preço individual de cada cultura. Além disso, temos, para cada cultura, a associação com um sistema de irrigação que, por sua vez, também, tem eficiências, requerimentos e perdas de pressão, custos, etc.

O CISDERGO permite ainda incorporar, por unidade de produção ou perímetro, e a níveis temporais mensais, anuais ou total, restrições ou outros requerimentos associados a seleção de culturas. Associado a estas restrições, pode-se, também, ter associações de múltiplas funções objetivos. Portanto, o CISDERGO está relacionado com o desenvolvimento de uma metodologia que considera esta análise integrada e que permite a maximização dos benefícios econômicos de uma seleção apropriada de culturas por unidade de produção cujas extensões de suas áreas irrigadas, tipos de irrigação, lâminas de rega ou vazões aduzidas dos poços ou reservatório, sistemas de bombeamento utilizados sejam objeto de determinação. Ainda para ser mais flexível, o modelo permite a inclusão de outros tipos de funções objetivos para incorporar outros tipos de maximização de benefícios (por exemplo, a mão de obra, uso de um determinado equipamento ou produto, etc.) ou minimização de perdas (por exemplo, gasto com insumos, etc.). O modelo de otimização tem como base o princípio de conservação da massa, que é aplicada ao reservatório e à área irrigada, e da energia, aplicado ao processo de bombeamento, e levam em consideração as limitações inerentes do problema. O processo de otimização é feito através da aplicação de um método de programação

linear de forma recursiva. Este processo de programação linear recursiva leva em consideração, de forma heurística, a natureza intrínseca não-linear do problema. Para sintetizar a idéia da concepção do CISDERGO, este foi desenvolvido com as seguintes finalidades:

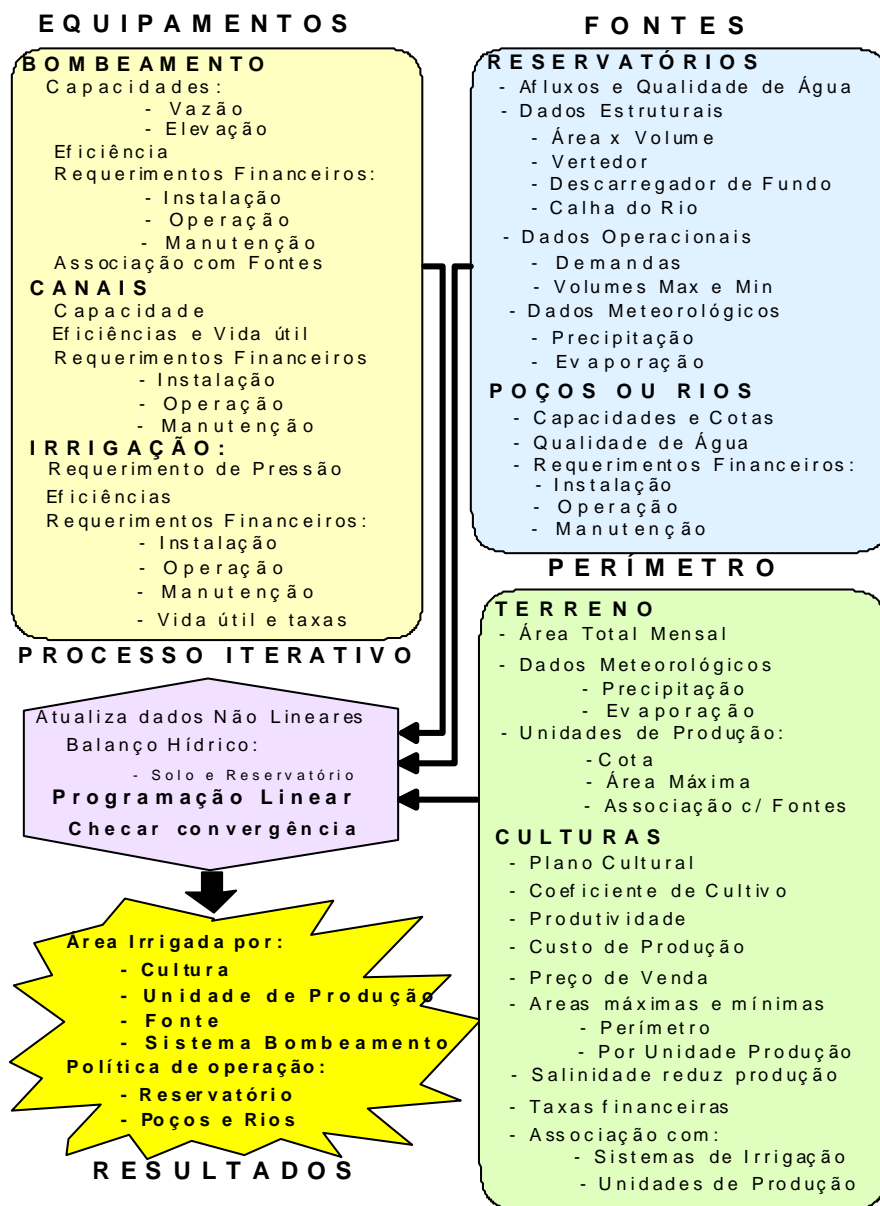


Figura 2 – Dados de entrada e saída do CISDERGO

1. Otimização da operação integrada de um Reservatório, Poços/Rios e Áreas Irrigadas via Programação Linear Recursiva
2. Formulação automática da função objetivo e das equações de restrição
3. Permitir, por perímetro, unidades de produção ou escalas de tempo mensal, anual ou plurianual:
 - 3.a Otimizar funções multi-objetivo
 - 3.b Incorporar outras restrições não implícitas no CISDERGO

4. Permitir a associação entre planos culturais, fontes de água, unidades de produção ou perímetros, sistemas de bombeamento e de irrigação.

A Figura 2 mostra, de forma suscinta e esquemática, os dados de entrada, o processamento e saída do CISDERGO. Os resultados fornecidos pelo modelo são os seguintes:

- Áreas irrigadas totais e por cultura (por nível de terreno e por fontes de abastecimento hídrico) em ha;
- Receitas e benefícios líquidos totais e por cada cultura obtidos com o cultivo das culturas irrigadas;
- Área cultivada total mensal por unidade de produção, em ha;
- Volumes mensais captados das fontes (reservatório) para a irrigação (hm^3) e demais demandas;
- Áreas da superfície líquida, volumes de armazenamento, descarregados, vertidos e evaporados mensais do reservatório.

Para esta aplicação foram geradas 40 variáveis de decisão e 204 equações de restrição para o reservatório estudado.

CONFIGURAÇÃO DO SISTEMA A SER OTIMIZADO

A representação física do sistema em estudo é mostrada na Figura 3, nela esta indicada o posicionamento de todos os componentes integrantes do sistema em estudo. Os principais produtos agrícolas exploradas na região são o milho, feijão, palma forrageira, cana-de-açúcar, mandioca, tomate, melancia, goiaba e algodão. Em áreas com maior precipitação, como o caso dos brejos inseridos na região, planta-se ainda culturas de manga, laranja e banana. Diante tradição agrícola local, possibilidades de cultivos nas manchas de solo desta região e maiores possibilidades econômicas, foram selecionadas oito culturas para plantio na região, a saber: tomate, melancia, feijão safra, feijão entressafra, banana, milho, goiaba e algodão. A mancha de solo tem área máxima 10000 ha. Na Tabela 1 são apresentados os coeficientes de cultivo e o plano cultural.

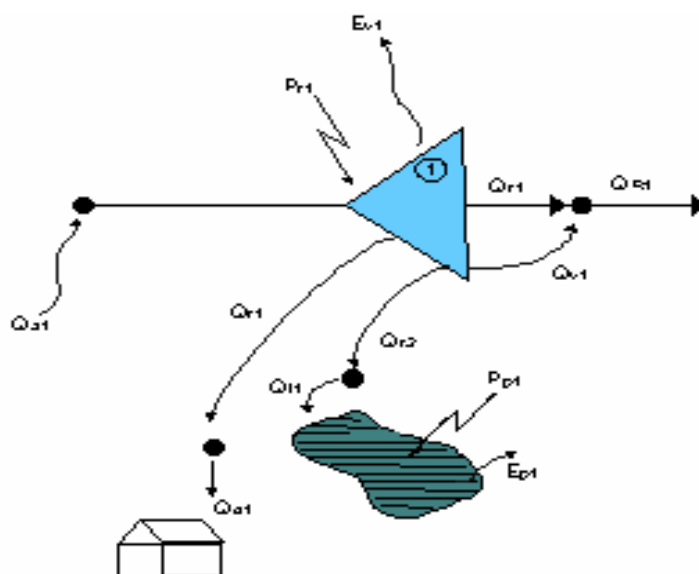


Figura 3- Configuração do sistema hídrico em estudo

Onde: Q_a = vazão afluyente; Q_v = vazão vertida; Q_t = tomada d'água; Q_f = vazão descarregada; P_r = precipitação no reservatório; E_r = evaporação no reservatório; P_p = precipitação na área irrigada; E_p = evaporação na área irrigada

Tabela 1- Coeficientes de cultivo e plano cultural das culturas adotadas no perímetro

Culturas	Meses											
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Tomate		0,45	0,75	1,15	0,80							
Melancia						0,75	1,00	0,75				
Feijão s			0,70	1,10	0,90							
Feijão es						0,70	1,10	0,90				
Banana	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90
Milho			0,40	0,80	1,15							
Goiaba	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70
Algodão					0,50	0,75	1,15	0,75				

Fonte: (Gomes, 1999).

Na Tabela 2 são apresentados dados relativos a produtividade das culturas, custo médio de produção, preço médio de venda, área mínima e sistemas de irrigação.

Tabela 2- Dados das culturas e sistemas de irrigação

Cultura	Produtividade Kg/há/ano	Custo de Produção R\$/ha/ano	Preço médio de venda R\$/Kg	Área Mínima ha	Sistema de Irrigação
Tomate	50.000	3.744,00	0,65	0	Sulco
Melancia	25.000	1.055,00	0,16	0	Aspersão
Feijão safra	1.800	656,00	0,86	5	Aspersão
Feijão entressafra	1.800	656,00	1,10	5	Aspersão
Banana	40.000	1.260,00	0,42	10	Gotejamento
Milho	8.000	596,00	0,25	5	Aspersão
Goiaba	16.000	1.121,00	0,31	0	Gotejamento
Algodão	3.000	982,00	0,78	5	Aspersão

* Conta Cultural do Banco do Nordeste, 1997

** CEAGEPE, 2000

Na Tabela 3 estão os principais parâmetros dos sistemas de irrigação propostos.

Tabela 3- Dados dos sistemas de irrigação

Sistema de Irrigação	Eficiência da distribuição %	Eficiência da aplicação %	Custo de Implantação R\$/ha	Vida útil anos	Taxa de amortização do investimento %	Requerimento de pressão Mca
Sulco	90	40	1.000,00	1	8	0
Aspersão	90	65	5.000,00	15	8	45
Gotejamento	90	90	3.000,00	10	8	15

RESERVATÓRIO E SISTEMA DE CAPTAÇÃO:

O reservatório Jataúba tem uma capacidade de armazenamento de 935.320 m³, que foi considerada o máximo volume mensal que poderia ser armazenado. Para proteção contra períodos de estiagem prolongados foi considerado um requerimento de volume mínimo mensal de 64.330 m³. Foi imposto ao problema, como restrição, a sustentabilidade hídrica dos reservatórios, definida

com a condição de que ao final do último mês da otimização, o volume dos reservatórios fosse igual ou superior ao volume inicial adotado no primeiro mês do processo.

A capacidade do extravasor do reservatório é de 2,0 m³/s e a relação área versus volume pode ser dada por:

$$A_{r_t} = -6.e^{-8} \cdot (V_{r_t})^2 + 0,389 \cdot V_{r_t} + 12488 \quad (1)$$

Onde A_{r_t} é a área da superfície líquida e V_{r_t} é o volume do reservatório no instante t.

Por outro lado, o sistema adutor de captação de água no reservatório para irrigação foi considerado ter uma capacidade de 4,0 m³/s com um preço médio da água estimado em R\$ 0,05/m³. Foi, também, considerado um sistema de bombeamento com capacidade de bombeamento média de 4000 l/s, com altura máxima de elevação da coluna de água pelas bombas de 70 mca, rendimento do sistema moto-bomba de 100 % e desconsiderado o preço da energia (por considerá-la, implicitamente, no cálculo do custo de produção cultural).

PRECIPITAÇÃO E VAZÃO

Foram obtidas com as médias referentes às séries hidrológicas das precipitações (SUDENE, 1990) e vazões médias (MOLLE e CADIER, 1992) englobando o período de 1963 à 1991.

Para o cálculo da precipitação média da sub-bacia, utilizou-se o método dos polígonos de Thiessen. Na Tabela 4 pode-se ver os resultados obtidos, da precipitação média anual para a sub-bacia do reservatório de Jataúba.

Tabela 4 – Precipitação média anual para a sub-bacia

Sub-bacia do Reservatório	Precipitação média anual (mm)	Área (km ²)
Jataúba	451,8	42,54

O coeficiente de evaporação foi considerado 0,8 na área do reservatório e 1,0 na área do perímetro irrigado.

Tabela 5- Dados climatológicos (mm) e vazões afluentes(m³/s), ao reservatório, utilizados no estudo

Cenário Médio (CM)													
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
Precipitação	29,1	46,2	84,3	97,3	60,5	45,3	31,2	13,6	7,8	7,7	9,5	19,4	451,8
Evaporação	162,2	129,3	119,1	106,1	85,9	72,7	75,2	92,9	108,9	151,9	164,4	161,4	1430,0
Vazão	0,04	0,06	0,09	0,11	0,07	0,05	0,04	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,52
Cenário Seco (CS)													
Precipitação	16,6	32,9	123,4	29,6	37,1	29,2	14,3	10,1	3,0	4,4	7,6	16,9	325,1
Evaporação	162,2	129,3	119,1	106,1	85,9	72,7	75,2	92,9	108,9	151,9	164,4	161,4	1430,0
Vazão	0,01	0,03	0,13	0,03	0,03	0,03	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,02	0,31
Cenário Chuvoso (CC)													
Precipitação	86,8	64,2	74,8	145,4	110,8	70,2	59,3	18,7	25,3	5,6	21,3	11,5	693,9
Evaporação	162,2	129,3	119,1	106,1	85,9	72,7	75,2	92,9	108,9	151,9	164,4	161,4	1430,0
Vazão	0,15	0,12	0,12	0,23	0,16	0,10	0,09	0,03	0,04	0,01	0,04	0,02	1,11

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O intervalo de tempo para a otimização do sistema hídrico em estudo foi definido para o período de um ano (doze meses), baseado nas séries de precipitação e vazão definidas para três situações climáticas distintas: média, seca e chuvosa; as quais serão definidas como cenários: Cm, Cs e Cc.

Dos usos múltiplos para a água presente no sistema hídrico em estudo, a prioridade é o abastecimento humano.

As culturas permanentes foram consideradas como culturas já em plena capacidade de produção. Atribuiu-se diferentes valores de volumes iniciais para os reservatórios no início da simulação. Foi imposto ao problema como restrição, a sustentabilidade hídrica dos reservatórios, onde definiu-se que, ao final do último mês da otimização, o volume de água dos reservatórios fosse igual ou superior ao volume inicial adotado no primeiro mês do processo.

Ao todo foram analisados 5 diferentes cenários com o auxílio do modelo CISDERGO, sendo três para a situação climática média (Cm1, Cm2 e Cm3), um para a situação climática seca (Cs1) e um para a situação climática chuvosa (Cc1).

Na Tabela 6, pode-se ver os cinco cenários escolhidos: Cm1, Cm2 e Cm3 para a situação climática média; Cs1 para a situação climática seca e Cc1 para a situação climática chuvosa. São

mostrados os volumes máximos e mínimos, de sustentabilidade hídrica, além dos diferentes valores de volumes iniciais para os 5 cenários impostos no processo de otimização.

Tabela 6-Descrição dos cenários

Parâmetro Operacional	Und	Situação Climática				
		Média			Seca	Chuvosa
		Cm1	Cm2	Cm3	Cs1	Cc1
V _{rmax}	m ³	935.320	935.320	935.320	935.320	935.320
V _{ro}	m ³	0,5. V _{rmax}	0,6. V _{rmax}	0,7. V _{rmax}	0,5. V _{rmax}	0,5. V _{rmax}
V _{rmin}	m ³	64.330	64.330	64.330	64.330	64.330
V _{sust}	m ³	V _{ro}	V _{ro}	V _{ro}	V _{ro}	V _{ro}

Onde: V_{rmax} = volume máximo mensal permitido para o reservatório; V_{ro} = volume inicial do reservatório para início da simulação mensal; V_{rmin} = volume mínimo mensal que permite uma boa operação hidráulica da tomada d'água; V_{sust} = volume mínimo para a sustentabilidade hídrica do reservatório, em que V_{final} do último mês da simulação \geq V_{inicial} do primeiro mês da simulação;

Situação Climática Média

Para verificar qual seria o comportamento do sistema quando fosse solicitado a funcionar sem fixação de áreas mínimas para as culturas, aplicou-se o modelo de otimização CISDERGO ao sistema para um cenário climático médio com volume inicial do reservatório de 50% da capacidade do mesmo e com o critério de sustentabilidade hídrica e pode-se observar que, entre as 8 culturas disponíveis, o tomate foi a única cultura escolhida devido a alta receita líquida por ha, com uma área de 213,51ha e gerando uma receita líquida de R\$ 5.850.000,00. O fato de ser possível alocar uma área tão grande e obter uma receita tão alta deve-se ao fato de se ter usado apenas irrigação suplementar, pois o plano cultural do tomate coincide com o período chuvoso de fevereiro a maio.

No caso do agricultor optar por uma cultura que produza o ano todo, como por exemplo, a banana, que representa a segunda em termos de maior receita líquida por hectare, verificou-se o comportamento do modelo quando se excluiu a cultura do tomate. Neste caso, foram alocados 79,98 ha para o cultivo da banana, produzindo uma receita líquida de R\$ 1.150.000,00. Portanto não seria adequada a irrigação de mais de 80 ha com culturas perenes. Como este valor foi obtido para um cenário climático médio, deve-se ter em mente que, para anos cujas precipitações e vazões afluentes forem menores (cenário seco), só haverá água suficiente para irrigação de 38,2 ha com culturas perenes, aqui representadas pela banana.

Como não há nenhuma demanda fixa retirada do reservatório, faz-se necessário a utilização destas águas para a irrigação, aproveitando, desta forma, a grande área disponível para agricultura (10.000ha) nas proximidades do mesmo, caso contrário, as perdas evaporativas serão muito altas,

uma vez que, mesmo com a irrigação de 204, 26ha e 198,38ha para os cenários Cm1, Cm2 e Cm3, respectivamente, as perdas médias mensais evaporativas foram, respectivamente, de 18,95%, 22,54% e 25,96% das afluências médias mensais. Em função dos aspectos culturais da região caracterizados e feijão para subsistência, optou-se por fixar uma área mínima de 5 ha para estas culturas, bem como para algodão, e 10 ha para a banana.

Analisando os resultados dos cenários Cm1, Cm2 e Cm3, apresentados na Tabela 5, observa-se que, para este reservatório, a questão da sustentabilidade hídrica, com volumes finais iguais ou maiores ao inicial, irão impor restrições as disponibilidades hídricas para aumentar a área irrigada. A maior receita líquida e área irrigada foi para o cenário Cm1 onde o reservatório começa com 50% da capacidade e apresenta uma receita líquida de R\$ 5.062.528,00. Nos cenários Cm2 e Cm3, apesar de se iniciar com uma maior disponibilidade de água no reservatório, a restrição de, também, terminar o ano com um volume mínimo igual ou superior ao inicial fez reduzir a área irrigada e aumentar as perdas evaporativas. Portanto percebe-se que a operação do reservatório e a utilização efetiva de suas águas, de forma que no mês de janeiro o reservatório se encontre com aproximadamente 50 % da sua capacidade, irá melhorar tanto o potencial de irrigação do mesmo como também reduzir as perdas evaporativas aumentando a eficiência do uso de suas águas.

Observando-se as Figuras 4, 5 e 6 vemos como o critério de sustentabilidade hídrica impõe ao reservatório condições muito restritivas de operação, uma vez que, para o cenário que inicia com um volume menor e, portanto, menos restritivo em termos de manutenção da sustentabilidade, o reservatório apresenta uma maior variabilidade de volumes mensais, chegando no mês de maio ao menor volume dos três cenários médios. Observa-se, também, na Figura 1 um volume maior de água usada para irrigação no cenário Cm1, mostrando que os picos de retirada de água para irrigação coincidem com o mês anterior ao de menor volume de água do reservatório. Os maiores volumes para irrigação ocorrem durante os meses de fevereiro, março, abril e maio, que são os meses onde a cultura do tomate é plantada. Caso as culturas adotadas apresentassem receita líquida por hectare mais homogênea, é possível que o padrão de irrigação fosse alterado.

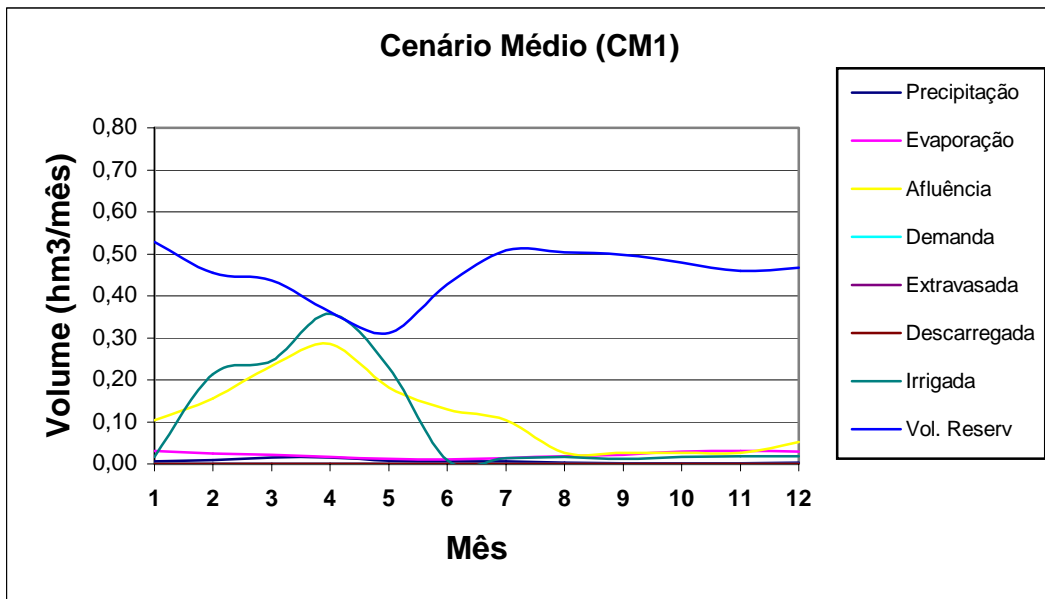


Figura 4- Cenário médio 1: volume inicial= 0,5.vrmax

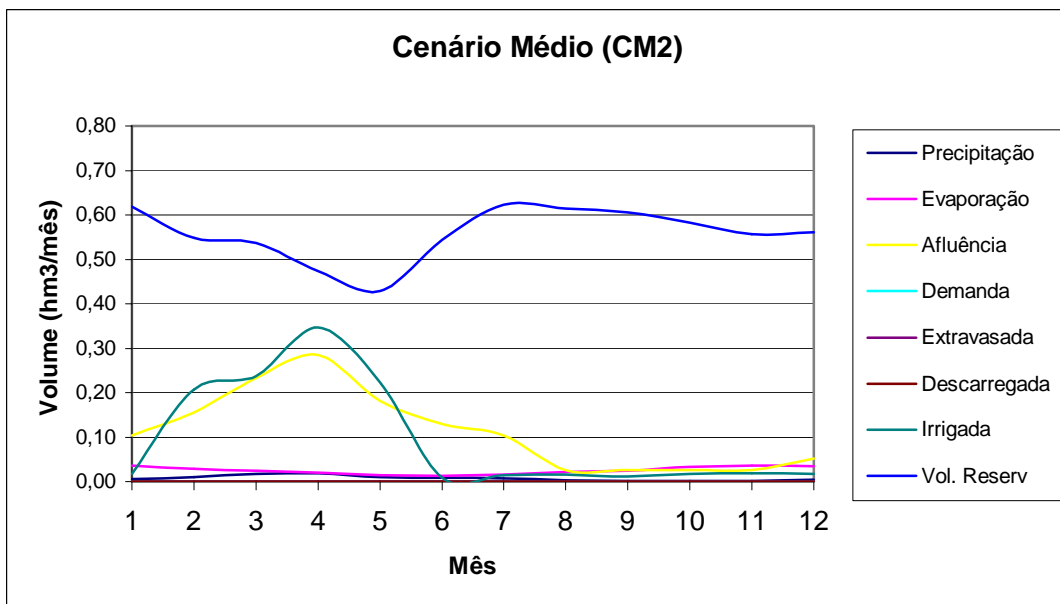


Figura 5- Cenário médio 2: volume inicial= 0,6.vrmax

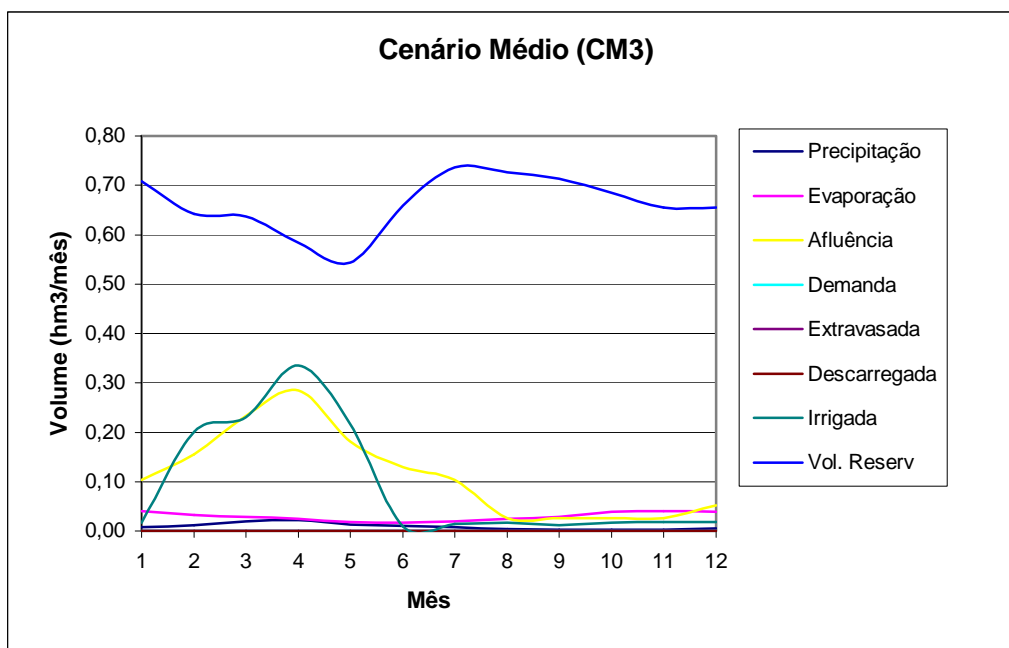


Figura 6- Cenário médio 3: volume inicial= 0,7.vrmax

Situação Climática Seca

Para um mesmo cenário de sustentabilidade com volume inicial de 50% da capacidade máxima, a vazão afluente reduzida de $1.347.840\text{m}^3$ para 803.520m^3 do cenário médio para o seco, reduzirá a área irrigada de 204,26ha para 85,51ha, respectivamente, ou seja, 58,14% de redução. Convém ressaltar a alta perda evaporativa de 34,89% das afluências médias mensais. Comparando o padrão de comportamento do volume mensal do reservatório entre os cenários Cm1 e Cs1 (Figura 7), observa-se que a restrição de sustentabilidade hídrica impõe que, praticamente, o reservatório só acumule água para compensar as altas perdas evaporativas, liberando pouca água para irrigação: $0,5895\text{ hm}^3$ contra $1,1680\text{ hm}^3$ para o cenário Cm1.

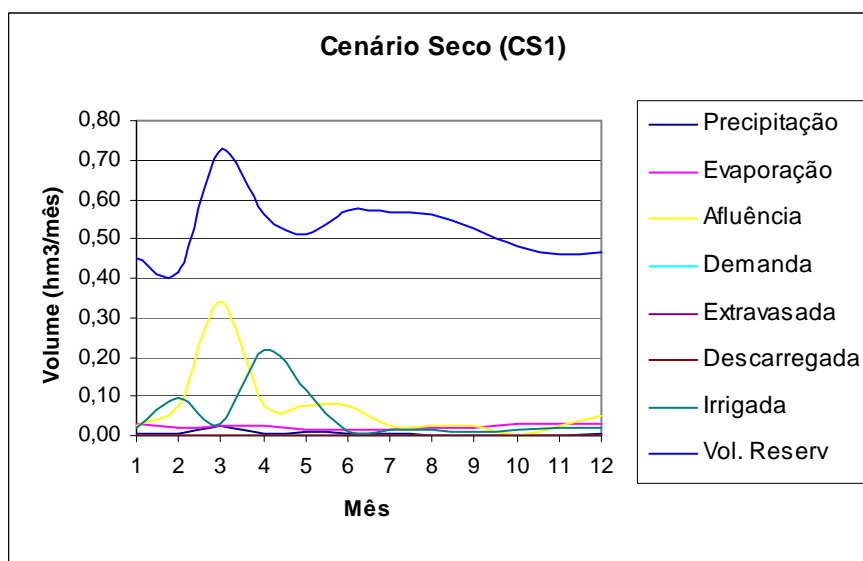


Figura 7- Cenário seco

Situação Climática Chuvosa

Ocorreu um aumento considerável na área irrigada e, conseqüentemente, na receita líquida potencial, havendo liberações de vazão para a jusante nos meses de abril e julho. Apesar de que o ponto de vista estritamente matemático o aumento na área irrigada, no cenário chuvoso, foi para a cultura de maior receita líquida por ha, o tomate com 337,35 ha e, em seguida, a melancia com 145,19 ha, não se deve interpretar que este excedente de água foi para irrigar estas culturas, mas sim que nestes anos chuvosos o potencial de irrigação chega a mais de 500 ha. Neste cenário, devido a alta afluência, foi necessário haver liberação de água do reservatório, com um volume descarregado de 0,7456 hm³. As perdas evaporativas anuais de 0,3687 hm³ perfazem 25,9 % das afluências, que são da ordem de 2,8771 hm³ anuais.

Os resultados obtidos podem ser vistos na Tabela 7.

Tabela 7 – Resultados obtidos com o auxílio do modelo CISDERGO

Cultura	Área Irrigada (ha)				
	Cm1	Cm2	Cm3	Cs1	Cc1
Banana	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
Tomate	179,26	173,38	167,74	60,51	337,35
Melancia	0,00	0,00	0,00	0,00	145,19
Feijão	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00
Feijão Entressafra	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Milho	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00
Goiaba	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Algodão	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00
Área total (ha)	204,26	198,38	192,74	85,51	507,54
<i>Receita Líquida Potencial</i>					
<i>Total</i>	5.062,00	4.901,00	4.746,00	1.804,00	9.751,00
<i>(x 1000 R\$)</i>					

CONCLUSÕES

De acordo com as análises efetuadas com o uso do modelo de otimização CISDERGO e com base nos objetivos da pesquisa podemos chegar a algumas principais conclusões:

1) Para o reservatório de Jataúba, como este não apresenta demandas para abastecimento e existe uma grande área com potencial para irrigação, é de vital importância o aproveitamento da água para irrigação, caso contrário as perdas evaporativas serão muito altas.

2) O aproveitamento da água para agricultura irrigada deve ser feita, principalmente, com irrigação de suplementação, não devendo a área irrigada com culturas perenes ser superior a 80ha e, caso queira-se trabalhar com maior garantia de disponibilidade hídrica, não deve ser superior a 38 ha. Apesar da vasta quantidade de terras aptas a irrigação na proximidade do açude Jataúba, a pequena capacidade deste reservatório (935.320 m³), não seria suficiente para atender ao potencial de área irrigável. No entanto, deve-se otimizar o uso destas águas para reduzir as perdas evaporativas e extrair o máximo de benefícios econômicos e sociais. Dentro deste contexto, tem-se que no cenário médio pode-se irrigar até 204 ha anuais com uma receita líquida potencial estimada em R\$ 5.062.000,00/ano.

3) O CISDERGO apresentou uma ótima performance computacional em termos de rapidez de convergência na obtenção de valores ótimos para operação de cada reservatório e tempo de processamento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BANCO DO NORDESTE S/A, Manual de Orçamentos Agropecuários – CENOP- CDE, Campina Grande, 1997.

CEAGEPE- Companhia de Abastecimento e de Armazéns Gerais do Estado de Pernambuco, disponível on-line em: www.ceagepe.pe.gov.br

CURI, R. C.; CURI, W. F , CISDERGO (*Cropping and Irrigation System Design with Optimal Reservoir and Groundwater Operation*), XIV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Aracaju, 2001.

GOMES, H. P., Engenharia de irrigação: hidráulica dos sistemas pressurizados, aspersão e gotejamento. Editora Universitária da Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande – PB, 3^a. Edição, 1999.

MOLLE, F ; CADIER, E., Manual do Pequeno Açude. Recife. SUDENE- DPG PRN–DPP– APR., 1992.

SUDENE-Dados Pluviométricos Mensais do Nordeste, Recife-Pernambuco, 1990.