



SPOLM 2008

ISSN 2175-6295

Rio de Janeiro- Brasil, 05 e 06 de agosto de 2008.

UM MODELO PARA A PROGRAMAÇÃO DE ESCALAS DE IRRIGAÇÃO NO PROJETO JAÍBA

Alexandre Fraga de Araújo

Universidade Federal de Viçosa - UFV
Avenida P. H. Rolfs s/n – Campus UFV – Viçosa, MG, 36570-000
alexandre.araujo@ufv.br

José Elias Cláudio Arroyo

Universidade Federal de Viçosa - UFV
Avenida P. H. Rolfs s/n – Campus UFV – Viçosa, MG, 36570-000
jarroyo@dpi.ufv.br

Brauliro Gonçalves Leal

Universidade Federal de Viçosa - UFV
Avenida P. H. Rolfs s/n – Campus UFV – Viçosa, MG, 36570-000
brauliro@gmail.com

RESUMO

Neste artigo é proposto um modelo de programação matemática para a geração da escala de horários dos setores a serem irrigados no Projeto Jaíba – MG, que utiliza o recurso hídrico da bacia do rio São Francisco. O objetivo é minimizar os custos da água e da energia utilizada para o funcionamento do conjunto motobomba. No modelo são consideradas as restrições impostas pela gestora da outorga dos recursos hídricos. O modelo é testado em instâncias de pequeno porte e os resultados se mostraram úteis, podendo gerar grandes ganhos na racionalização dos recursos envolvidos.

Palavras-Chaves: Programação Matemática; Otimização Combinatória; *Scheduling*.

Abstract

In this article, a model of mathematical programming is proposed for the generation of the scale of schedules of the sectors to be irrigated in the Jaíba Project, MG - Brazil, that uses the hydric resources of São Francisco river basin. The objective is to minimize the costs of the water and of the energy used for the operation of the motor pumps. In the model, is considered the restrictions imposed by the manager of hydric resources. The model is tested in small instances and the results were useful, can generate great earnings in the rationalization of the involved resources.

Keywords: Mathematics Programming; Combinatorial Optimization; Scheduling.

1. INTRODUÇÃO

A agricultura irrigada é a atividade humana que demanda maior quantidade de água. Em termos mundiais, estima-se que esse uso responda por cerca de 80% das derivações de água. No Brasil, esse valor supera os 60% [8].

Na maioria das áreas irrigadas, é comum observar a ausência do manejo racional da

água. Conforme o estudo realizado pela Companhia Energética de Minas Gerais – CEMIG [3], se a irrigação fosse utilizada de forma eficiente, aproximadamente 20% da água e 30% da energia consumida seriam economizadas. Como consequência deste manejo eficiente, destaca-se o aumento da produtividade, melhoria da qualidade dos produtos agrícolas e a preservação dos recursos naturais envolvidos [9].

O potencial agrícola brasileiro é imenso e a agricultura irrigada tem contribuído significativamente com a elevação da competitividade do agronegócio, embora sejam gerados efeitos colaterais pelo manejo inadequado de recursos hídricos e tecnológicos disponíveis. Segundo uma série de estudos sobre o gerenciamento dos recursos hídricos no Brasil, realizado pelo Banco Mundial em parceria com o Governo Brasileiro, a agricultura irrigada consiste numa estratégia eficaz na geração de impactos socioeconômicos e na redução da pobreza do semi-árido brasileiro, bem como fortalece o desenvolvimento da agricultura nacional como um todo. Os perímetros de irrigação são os principais agentes do setor público para consolidar a realidade das transformações geradas por esta estratégia [5],[13].

Dentre os instrumentos da política nacional de irrigação, destaca-se o Projeto Jaíba, um dos maiores projetos de irrigação da América do Sul, localizado ao norte do estado de Minas Gerais – Brasil, abrangendo parte dos municípios de Jaíba e Matias Cardoso, a 665 km ao norte de Belo Horizonte (por rodovia), a 980 km a leste de Brasília, e a 1.065 e 1.265 km ao norte do Rio de Janeiro e de São Paulo, respectivamente. A região é um dos principais bolsões de pobreza no Brasil. Apesar de se situar em uma das áreas mais secas do semi-árido brasileiro, é abastecido pelo rio São Francisco e, portanto, apresenta excelentes condições agro-ecológicas para o desenvolvimento da agricultura irrigada [4].

O Projeto Jaíba é conhecido e reconhecido como o maior projeto de irrigação da América Latina, mas sua dimensão não se resume a um projeto de irrigação: ele é um grande empreendimento e tem enormes desdobramentos sociais, culturais, ambientais e principalmente político. Evidentemente o projeto apresenta efeitos positivos e negativos em toda a região ao seu entorno, mudando cenários e influenciando os índices de desenvolvimento dos municípios que o circundam [6].

O Perímetro do Jaíba é constituído, atualmente, por 3.538 lotes dispostos em canais de irrigação interconectados e alimentados por um conjunto motobomba que extrai a água do rio São Francisco com uma vazão máxima definida pelo Instituto Mineiro de Gestão das Águas - IGAM, gestor da outorga de recursos hídricos no estado de Minas Gerais. Cada lote é dividido em quatro ou mais setores irrigados, de maneira independente, podendo ser plantados com distintas culturas.

O principal foco do Projeto Jaíba é fomentar a agricultura familiar. O processo de assentamento dos colonos nos lotes direcionados para agricultores familiares é feito pela CODEVASF. Os critérios de seleção envolvem entrevistas, nas quais é avaliada a capacidade administrativa e gerencial, a composição da mão-de-obra (que deve ser familiar), a vocação agrícola, dentre outras [10]. Depois de obtido a aprovação nas etapas anteriores, o futuro irrigante recebe um lote de 5,0 hectares, no qual deverá não só produzir para a subsistência de sua família, como também produzir excedentes para manutenção do lote.

No primeiro ano, o custo da água para a irrigação é zero. Após este período o valor da água se desdobra em duas partes: uma para recuperação do capital investido (retorno da infra-estrutura de uso comum) em 50 anos sem juros, sob a forma de taxa a cobrar por hectare equipado; e outro sob a forma de tarifa calculada com base no volume da água consumido.

Segundo dados da Emater-MG [7], mesmo considerando a evolução conseguida na renda média anual das famílias do Projeto Jaíba, constata-se que quase 40% dos irrigantes detém renda per capita próxima a linha da pobreza absoluta.

Um agravante para os produtores que se encontram na situação descrita é a alta tarifação da água para irrigação. De acordo com a Política Nacional de Irrigação [12], estabeleceu-se que a tarifa deverá ser suficiente para a amortização dos investimentos públicos nas obras de infra-estrutura de irrigação de uso comum e para cobrir as despesas anuais de administração, conservação e manutenção das infra-estruturas do projeto. Essa alta

tarifação vem contribuindo para aumentar as dívidas da agricultura familiar do Projeto Jaíba.

Dentro do contexto da agricultura familiar irrigada, três fatores são considerados de grande relevância para que se possa realizar um manejo racional da irrigação:

- Vazão disponível: o gestor do recurso hídrico, com base em dados diários da bacia hidrográfica, define a vazão horária máxima que poderá ser utilizada pelo conjunto de propriedades.

- Valor da energia elétrica: o manejo da irrigação é realizado por meio de um conjunto motobomba, que utiliza da rede elétrica para seu funcionamento. Existe horários onde a tarifa da energia elétrica varia entre 40% (tarifa reduzida) a 100% (tarifa normal) do valor cobrado. Em alguns horários, a energia não pode ser consumida devido à grande utilização da rede elétrica para outros fins.

- Valor da água: segundo a Agência Nacional de Águas [1], a água utilizada a partir da bacia do rio São Francisco possui uma tarifa de acordo com o consumo. Futuramente, esta tarifa terá o controle semelhante ao da energia elétrica, variando o seu valor de acordo com o horário de captação.

Neste artigo é proposta uma representação matemática do distrito de irrigação do Projeto Jaíba, que utiliza os recursos hídricos da bacia do rio São Francisco. Com base na representação proposta, é desenvolvido um modelo de otimização para a geração da escala de horários dos setores irrigados, levando em consideração as restrições impostas pela gestora da outorga dos recursos hídricos. A escala gerada buscará a alocação das propriedades nos horários de menor tarifa de energia elétrica e água, obtendo com isto, uma maior lucratividade da cultura e a redução do impacto nos recursos naturais envolvidos no processo.

2. DEFINIÇÃO MATEMÁTICA DO PROBLEMA ABORDADO

O problema abordado neste trabalho consiste em definir a ordem dos setores das propriedades agrícolas a serem irrigados, permitindo o escalonamento dos setores de múltiplas propriedades, de maneira que todas elas utilizem os horários de tarifação reduzida. Com isso, haverá uma distribuição justa de benefícios entre as famílias, reduzindo o custo da produção e, conseqüentemente, elevando a lucratividade da cultura.

Com o objetivo de delimitar o escopo do problema definido, é desenvolvida uma representação matemática do funcionamento do perímetro irrigado do Projeto Jaíba.

Considere um perímetro de irrigação Pe , com uma vazão disponível V em função de uma unidade de tempo, comumente representada em metros cúbicos por hora (m^3/h). Este perímetro é constituído por np propriedades agrícolas Pr_p , $p=1, \dots, np$.

Adicionalmente, o perímetro possui n_j janelas de tempo J_j , $j=1, \dots, n_j$. Cada janela J_j possui um custo energético Ce_j e um custo da água Ca_j . Desta forma, o perímetro de irrigação Pe pode ser representado analiticamente pela Equação (1).

$$Pe = \left\{ V, \left\{ Pr_p \right\}_{p=1}^{np}, \left\{ J_j, Ce_j, Ca_j \right\}_{j=1}^{n_j} \right\} \quad (1)$$

Uma propriedade agrícola Pr_p é dividida em ns setores Se_s , com s variando de 1 à ns , descrito pela Equação (2).

$$Pr_p = \left\{ Se_s \right\}_{s=1}^{ns} \quad (2)$$

O setor é a área realmente cultivada dentro do contexto do perímetro irrigado. Cada setor é associado a um determinado tipo de cultura, e é equipado com uma estrutura de irrigação, geralmente formada por um conjunto motobomba. Com base nos dados técnicos deste conjunto motobomba, é definido, na Equação (3), o valor da demanda de energia elétrica De_s e de água Da_s , além do tempo de duração da irrigação, T_s , que será utilizado no manejo.

$$Se_s = \{De_s, Da_s, T_s\} \quad (3)$$

Com base nas equações descritas, é apresentada a equação geral para a representação do perímetro irrigado do Jaíba.

$$Pe = \{V, \{ \{De_s, Da_s, T_s\}_{s=1}^{ns} \}_{p=1}^{np}, \{J_j, Ce_j, Ca_j\}_{j=1}^{nj} \} \quad (4)$$

Este modelo analítico pode ser utilizado em qualquer perímetro irrigado que possua características semelhantes ao perímetro do Jaíba. O seu uso permite a visualização e análise do cenário a ser estudado, de maneira clara e objetiva.

3. MODELO DE OTIMIZAÇÃO

Com base no contexto descrito na Seção 1 e o modelo da Seção 2, é proposto um modelo de otimização que será responsável pelo escalonamento dos setores irrigados, por meio da alocação eficiente dos recursos hídricos. Com base nesta modelagem, têm-se como objetivo propor melhorias na forma do manejo da irrigação.

Neste modelo, assume-se de forma genérica a existência de n setores irrigáveis, que terão o seu tempo de irrigação distribuído uniformemente em 24 janelas de tempo, com duração de uma hora cada. Para representar o problema foram utilizadas as seguintes variáveis e notações:

- n : representa o número total de setores irrigáveis;
- i : representa cada setor;
- j : representa cada janela de tempo;
- Ca_j : representa o custo da água consumida, na janela de tempo j .
- Ce_j : representa o custo da energia elétrica consumida, na janela de tempo j .
- Da_i : representa a demanda de água gasta pelo equipamento de irrigação do setor i , em função de uma janela de tempo.
- De_i : representa a demanda de energia gasta pelo equipamento de irrigação do setor i , em função de uma janela de tempo.
- X_{ij} : é a variável de decisão, onde, $X_{ij} = 1$ indica que o setor i está sendo irrigado na janela de tempo j , caso contrário, $X_{ij} = 0$;
- T_i : representa o número de horas de irrigação exigidas para o setor i . Este valor é obtido com base no volume de água necessário para a cultura em função da capacidade de bombeamento por unidade de tempo do equipamento utilizado.
- V : representa o volume máximo de água disponível por unidade de tempo para todo o perímetro irrigado. Este valor é definido pelo gestor da outorga do recurso hídrico.

A partir destas considerações sobre o problema de escalonamento de setores irrigáveis, é construído o seguinte modelo matemático:

$$\text{Minimizar } \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{24} (Ca_j Da_i + Ce_j De_i) X_{ij} \quad (5)$$

Sujeito à:

$$(M1) \quad \sum_{j=1}^{24} X_{ij} = T_i, \quad i = 1, \dots, n. \quad (6)$$

$$\sum_{i=1}^n Da_i X_{ij} \leq V, \quad j = 1, \dots, 24. \quad (7)$$

$$X_{ij} \in \{0, 1\}, \quad i = 1, \dots, n; \quad j = 1, \dots, 24. \quad (8)$$

A função objetivo, representada pela Expressão (5), visa minimizar o custo médio do

manejo de irrigação, somando os custos dos recursos de água e energia mediante suas demandas, em cada janela ativa. A restrição (6) garante que todos os setores serão atendidos, ou seja, cada setor deve ter a soma das janelas de tempo utilizadas igual à sua demanda de horas. A restrição (7) garante que o recurso hídrico não sofrerá consumo além do permitido, onde para cada janela de tempo, a soma das demandas de todos os setores ativos deve ser menor ou igual à vazão disponibilizada. A Expressão (8) indica que as variáveis de decisão são binárias.

A partir deste modelo, têm-se o escalonamento dos setores irrigáveis de acordo com a demanda T_i definida para o setor, objetivando o menor custo do manejo. Entretanto, para obter esta economia, permite-se a alocação da irrigação em janelas de tempos não contínuas. Apesar deste arranjo ser o mais lucrativo, na prática, o custo operacional de ativar e reativar o conjunto motobomba ao longo do dia se torna muito alto, tornando esta alternativa inviável.

Com o propósito de reduzir os custos operacionais, é acrescentada uma restrição ao modelo com a finalidade de gerar soluções que tenham as janelas alocadas de forma contínuas para cada setor. Caso não haja este agrupamento, o modelo sofrerá uma punição no valor da função objetivo. Acrescentado a nova restrição, é construído o seguinte modelo de programação não linear inteira:

$$\text{Minimizar } \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{24} (Ca_j Da_i + Ce_j De_i) X_{ij} + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{24} P_{ij} \quad (9)$$

Sujeito à:

$$\sum_{j=1}^{24} X_{ij} = T_i, \quad i = 1, \dots, n. \quad (10)$$

(M2)

$$\sum_{i=1}^n Da_i X_{ij} \leq V, \quad j = 1, \dots, 24. \quad (11)$$

$$P_{i1} = (Ca_1 Da_i + Ce_1 De_i) X_{i1}, \quad i = 1, \dots, n. \quad (12)$$

$$P_{ij} = (Ca_j Da_i + Ce_j De_i) X_{ij} * (1 - X_{i,j-1}), \quad i = 1, \dots, n; \quad j = 1, \dots, 24. \quad (13)$$

$$X_{ij} \in \{0,1\}, \quad i = 1, \dots, n; \quad j = 1, \dots, 24. \quad (14)$$

Os valores de cada linha i da matriz P_{ij} representam as mudanças de estado do manejo do setor i na janela de tempo j . A importância desta matriz está em buscar manter agrupado o maior número possível de janelas de tempo alocadas, já que há um custo operacional significativo em realizar o manejo em diversas janelas de tempo descontínuas ao longo do dia.

As restrições (12) e (13) indicam que, quando o setor i iniciar a atividade de irrigação na janela de tempo j , a posição P_{ij} receberá o valor do custo associado à alocação da referida janela de tempo. Nos demais casos, quando o setor não estiver sendo irrigado ou quando já estiver em processo de irrigação, $P_{ij}=0$. Note que a restrição (13) é não-linear.

Como o custo operacional para iniciar o processo de irrigação em uma janela de tempo não possui um valor nominal, e este valor não é prático de ser estipulado, foi considerado que o custo é o equivalente ao consumo de uma hora de irrigação. Este valor, apesar de ser acima da realidade, apresenta o efeito desejado que é manter o manejo de irrigação alocado no maior número de janelas de horas contínuas.

A nova função objetivo alterada para atender este novo critério é definida pela Equação (9). Os valores assumidos pela matriz P_{ij} afeta diretamente o valor da função objetivo, sob a forma de penalização. Quanto maior o número de janelas alocadas de forma descontínua pelo modelo, maior será o número de elementos da matriz P_{ij} com valores diferentes de zero, e com isso, maior será o valor da penalidade sobre a função objetivo do problema.

4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os modelos apresentados neste artigo foram resolvidos utilizando o software de programação matemática Xpress, da Dash Optimization (<http://www.dashoptimization.com>), e executados em um computador com processador Intel Core Duo de 1,5 GHZ, com 1GB de RAM.

O modelo é testado em uma instância de pequeno porte, formado por 20 setores irrigados do Projeto Jaíba. Os dados utilizados (demanda de água e energia, tempo de irrigação e vazão máxima) foram obtidos do sistema computacional Perímetro 1.0, responsável pelo cálculo do manejo de irrigação no perímetro irrigado do Jaíba.

É considerado o período de irrigação de um dia, divididos em 24 janelas de tempo de uma hora cada. O custo da energia, apresentado na Tabela 1, possui duas faixas de valores em função do horário, sendo a tarifa reduzida, com o valor de 0,4 unidades monetárias (u.m.), e a tarifa normal, com o valor integral de 1,0 u.m.

Tabela 1 – Custo da energia do distrito irrigado do Jaíba.

	Tarifa	Valor
0 às 6 horas / 21 às 24 horas	Reduzida	0,4 u.m.
6 às 21 horas	Normal	1,0 u.m.

No distrito do Jaíba, o custo da água é constante em função do tempo, sendo assim, é definido o valor de 1,0 u.m. para todos os horários de consumo da água.

Primeiramente, foram feitos os testes utilizando o modelo (M1). A Figura 1 demonstra a escala obtida pelo modelo. As janelas marcadas correspondem aos horários alocados para a irrigação. Por exemplo, o Setor 1 é irrigado na 2ª. hora e nas três últimas horas do dia. Note que os horários de irrigação correspondem aos horários de tarifa reduzida.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Setor 1		■																				■	■	■
Setor 2	■																							
Setor 3	■																							
Setor 4	■																							
Setor 5																								
Setor 6																								
Setor 7	■																							
Setor 8	■																							
Setor 9	■																							
Setor 10																								
Setor 11																								
Setor 12																								
Setor 13	■																							
Setor 14	■																							
Setor 15																								
Setor 16																								
Setor 17																								
Setor 18																								
Setor 19																								
Setor 20	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

Figura 1 – Escalonamento de 20 setores do Projeto Jaíba, utilizando o modelo (M1).

O principal objetivo do modelo (M1) é alocar as janelas de tempo com menor custo para realizar o manejo da irrigação. Como já analisado, esta solução apesar de satisfatória, não é a ideal devido à descontinuidade das horas de irrigação.

Usando o modelo (M2) obtém-se os resultado ilustrado na Figura 2. Observe que as

janelas de manejo alocadas apresentam maior continuidade em comparação à solução do modelo (M1).

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Setor 1																								
Setor 2																								
Setor 3																								
Setor 4																								
Setor 5																								
Setor 6																								
Setor 7																								
Setor 8																								
Setor 9																								
Setor 10																								
Setor 11																								
Setor 12																								
Setor 13																								
Setor 14																								
Setor 15																								
Setor 16																								
Setor 17																								
Setor 18																								
Setor 19																								
Setor 20																								

Figura 2 – Escalonamento de 20 setores do Projeto Jaíba, utilizando o modelo (M2).

Na tabela 2 é apresentado maiores detalhes sobre os resultados computacionais obtidos após o processamento dos modelos. Percebe-se que, no modelo (M2), os números de variáveis e restrições possuem um aumento significativo com relação ao modelo (M1). Conseqüentemente, há um aumento no tempo de execução e no número de iterações para se obter a solução ótima.

Tabela 2 – Resultados computacionais obtidos com o Xpress.

	Variáveis	Restrições	Iterações	Tempo (seg.)
Modelo (M1)	480	45	364	<0
Modelo (M2)	960	525	35709	189

Até o presente momento não existe uma escala de horários para o manejo dos setores a serem irrigados no distrito de irrigação do Projeto Jaíba. A escolha do horário é feita exclusivamente pelo seu proprietário, e sem nenhum critério técnico. Geralmente é visado somente o lucro no manejo, a partir da execução da irrigação em horários de menor valor.

É comum ocorrer o excesso de setores sendo irrigados em janelas de tempo mais baratas, havendo uma demanda de recurso hídrico que pode requerer vazões acima da máxima disponibilizada pela gestora da outorga do recurso. O processo atualmente utilizado é notoriamente incompatível com a grande estrutura deste projeto e seus valores envolvidos, sejam eles referentes aos impactos nos recursos naturais ou à existência de conflitos entre proprietários pela disputa dos melhores horários.

5. CONCLUSÃO

Os resultados obtidos neste trabalho, usando os modelos propostos, foram satisfatórios para a melhoria do manejo e a diminuição dos impactos nos recursos naturais. As escalas geradas foram analisadas por especialistas em engenharia agrícola e colaboradores do Projeto Jaíba, confirmando a utilização dos modelos como um critério técnico de grande valia

para a tomada de decisão dos gestores do recurso.

A partir do modelo proposto, podem ser geradas soluções computacionais para a elaboração de escalas de horários de manejo de irrigação, minimizando os valores pagos de energia elétrica e água pelas famílias que utilizam o distrito de irrigação do Jaíba.

Como trabalhos futuros pretende-se melhorar o modelo de otimização definindo restrições do tipo linear. Além disso, pretende-se incluir novas restrições tais como a divisão justa dos horários de irrigação a partir de um histórico de alocação em horários de tarifa reduzida.

Agradecimentos: À empresa Dash Optimization pela licença cedida da versão completa do Xpress-MP.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ANA, Agência Nacional de Águas. Nota Técnica nº 49/2007/SAG. Junho/2007. (2007)
- [2] Biembengut, Maria S., Hein, Nelson. Modelagem Matemática no Ensino. Contexto, São Paulo (2000)
- [3] CEMIG, Companhia Energética de Minas Gerais. Relatório de avaliação ambiental estratégica do programa de eletrificação rural do noroeste de minas gerais. 2006, http://www.cemig.com.br/meio_ambiente/relatorio_noroeste.pdf, 4,2008.
- [4] CODEVASF, Companhia de Desenvolvimento do Vale do São Francisco. Inventário de projetos. CODEVASF, Brasília (1999)
- [5] Costa, Francisco J. L. Estratégias de Gerenciamento de Recursos Hídricos no Brasil: Áreas de Cooperação com o Banco Mundial, Banco Mundial, Brasília (2003)
- [6] Emater-MG, Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural de Minas Gerais. PDS (Plano de Desenvolvimento Sustentável) para a agricultura familiar do Projeto Jaíba Etapa I. Jaíba (2005)
- [7] Emater-MG, Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural de Minas Gerais. Proposta técnica para prestação de serviço de assistência técnica e extensão rural no Projeto Jaíba. Belo Horizonte (2003)
- [8] FGV, Fundação Getúlio Vargas. AGROANALYSIS. Vol. 18, nº. 3 (2000)
- [9] Lima, J. E. W., Ferreira, R. A., Christofidis, D. O uso da irrigação no Brasil (2000). In: Freitas, M. V. (ed.). O Estado das Águas no Brasil-. ANEEL - MMA/SRH – OMM, 1999
- [10] Moraes, L.F. A sustentabilidade da agricultura irrigada no contexto do Projeto Jaíba Etapa I. 96 p. Dissertação (Mestrado em Extensão Rural) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG (1999)
- [11] Perímetro 1.0. Software IntecPerímetro. Registro INPI sob o número de protocolo 014070008063
- [12] Pinheiro, José César V., Shiota, Ricardo. Determinação do Preço Eficiente da Água para Irrigação, Revista Econômica do Nordeste, v. 31, nº. 1, p. 36-47 (2000)
- [13] Valdes, Alberto, et al. Impactos e Externalidades Sociais da Irrigação no Semi-árido Brasileiro, Banco Mundial, Brasília (2004)