

PLANOS ÓTIMOS DE CULTIVOS NO PROJETO DE IRRIGAÇÃO DE BEBEDOURO, MUNICÍPIO DE PETROLINA, PERNAMBUCO^{1/}

Maurílio M. Reis^{2/}
Miguel Ribon^{3/}
Euter Paniago^{3/}
Sonia Coelho de Alvarenga^{3/}

1. INTRODUÇÃO

A irrigação é fator de grande importância para o desenvolvimento econômico e social do Nordeste (1). Há pouco mais de 20 anos teve início um esforço governamental sistemático, visando ao aproveitamento racional dos recursos da água e do solo do chamado «Polígono das Secas». O Governo criou, para isso, órgãos especializados para planejar e implementar obras de irrigação, como mecanismo importante para integrar a agricultura, de modo mais produtivo, à economia nacional, como um todo, visando à melhoria da vida das populações rurais que vivem do produto gerado no campo. O Brasil, um dos maiores exportadores de produtos agrícolas, poderá transformar-se num grande celeiro de alimentos agropecuários e agroindustriais, não somente para alimentar melhor sua população como também para melhorar seu balanço de pagamentos. Nesse sentido, a irrigação deverá desempenhar papel preponderante. Torna-se cada vez mais evidente a importância do emprego racional da irrigação para transformar a agricultura do Nordeste numa atividade econômica estável, mais produtiva e dinâmica, capaz de fixar o homem na terra.

^{1/} Baseado na tese de mestrado em Economia Rural apresentada, pelo primeiro autor, à Universidade Federal de Viçosa.

Recebido para publicação em 18-11-1981.

^{2/} Técnico da CODEVASF — Companhia de Desenvolvimento do Vale do São Francisco 57200 Penedo, AL.

^{3/} Departamento de Economia Rural da U.F.V. 36570 Viçosa, MG.

A irrigação é um dos instrumentos que o Governo vem utilizando, dentro da estratégia de integração do Nordeste à economia agrícola nacional, para aproveitar os recursos de água e solo. Nesse sentido, a adoção de sistemas de irrigação constitui esforço harmonizado de desenvolvimento e de elevação do padrão de vida do homem do campo.

A Companhia de Desenvolvimento do Vale do São Francisco — CODEVASF, além da ação conjugada da Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste — SUDENE, do Departamento de Obras Contra Secas — DNOCS, do Ministério da Agricultura, do Banco do Nordeste do Brasil e do Banco do Brasil, deverá permitir o aproveitamento de 130.000 hectares de lavouras irrigadas e o desenvolvimento das agroindústrias a elas associadas (2).

No esforço de desenvolvimento agrícola do Nordeste, o Vale do Rio São Francisco tem merecido singular atenção do Governo Federal, por ser região com potencialidade para a execução de obras agropecuárias e agroindustriais.

Com o objetivo de promover o desenvolvimento sócio-econômico de todo o Vale do Rio São Francisco, a CODEVASF atua, nessa região, com diretrizes de trabalho que compreendem dois sistemas básicos (6):

- . grandes e médias empresas, destinadas à exploração de culturas irrigadas, de elevado valor econômico, para colocação nos mercados externo e interno;
- . pequenas unidades, com área irrigada inferior a 50 hectares, que objetivam, por intermédio de programas de colonização, a exploração de culturas em parcelas familiares, visando, essencialmente, ao abastecimento interno e ao fornecimento de matérias-primas às agroindústrias da região.

Dos projetos de irrigação já em operação, destaca-se o de Bebedouro, localizado a 40 km da cidade de Petrolina-PE, cujas experiências e resultados testemunham o sucesso que ainda poderá advir dos projetos em fase de execução. Os serviços de planejamento agrícola, mecanização, assistência social, treinamento, educação e saúde são prestados pela Cooperativa Agrícola Mista do Projeto de Irrigação de Bebedouro.

Os planos agrícolas são os instrumentos utilizados para nortear a produção, com o objetivo de utilizar técnicas racionais e promover a melhoria do padrão de vida do agricultor, elevando sua produção e sua produtividade. Tais planos são elaborados, anualmente, por técnicos da região, com base em experiências passadas e com a utilização do método dos orçamentos, e, embora satisfatórios, os resultados não são ótimos.

A programação agrícola anual da cooperativa leva em consideração principalmente a sazonalidade do mercado, o fornecimento de matéria-prima e a produção de sementes. A potencialidade de mercado dos grandes centros consumidores, como Belo Horizonte, Rio e São Paulo, dentre outros, é fundamental para a decisão sobre a área a ser cultivada com as culturas de cebola, melancia e melão, cuja produção é destinada a atender à procura nos períodos de entressafra, época em que os preços são compensadores. A área para a cultura do tomate é definida mediante contratos a termo, firmados com as agroindústrias instaladas na região.

Os planos parcelares são elaborados com a participação do parceleiro, ficando sob a responsabilidade dos planejadores a composição, que deve obedecer à programação global da Cooperativa. Observa-se, entretanto, que os critérios utilizados são aleatórios, uma vez que os planos diferem para determinado número de parcelas com características físicas semelhantes e áreas aproximadamente iguais, o que leva a resultados comprometedores, em alguns casos.

Fica, portanto, evidenciada a necessidade de desenvolver um estudo especí-

fico, que venha a propiciar a melhor utilização dos recursos produtivos e a elaboração de planos agrícolas que apresentem retorno máximo, uma vez que há suspeitas de que os planos parcelares, com base nas experiências internas, não traduzem a forma mais racional, podendo ocasionar problemas tanto de ordem técnica como econômica.

Desenvolveu-se este estudo com o propósito de determinar planos ótimos de cultivos para diferentes módulos de parcelas agrícolas, tomando como espaço a superfície agrícola útil do Projeto de Irrigação de Bebedouro, atendendo às prioridades preestabelecidas na programação agrícola e observando as atividades e áreas respectivas, o que, certamente, propiciará ao produtor a maximização da sua receita.

2. METODOLOGIA

2.1. Área de Estudo

Os municípios de Petrolina-Pe e Juazeiro-Ba têm população aproximada de 120.000 e 140.000 habitantes, respectivamente, e estão localizados numa das regiões mais secas do Nordeste Semi-Árido. A precipitação pluviométrica anual gira em torno de 500 mm, com predominância de vegetação tipo caatinga. São tidos como centros econômicos e políticos de todo o Submédio São Francisco.

O Projeto de Irrigação de Bebedouro localiza-se a 40 km do município de Petrolina, Pernambuco, na Área Prioritária Petrolina-Juazeiro, no Submédio São Francisco, a qual apresenta um módulo de 10.000 km², aproximadamente.

O Projeto tem superfície agrícola útil e irrigada de 950 hectares, explorada, em parcelas de 5 a 14 ha, por 107 produtores, associados à Cooperativa Agrícola Mista do Projeto de Irrigação de Bebedouro Ltda. — CAMPIB. Tem como principais culturas a cebola, o feijão, a melancia, o melão, o milho, o sorgo e o tomate industrial. A produção, no ano de 1979, atingiu o valor de Cr\$ 42.150.000,00.

O Rio São Francisco é a grande e única fonte de água de que dispõe o Projeto.

A vegetação predominante na área do Projeto é xerófita, densa, tortuosa e caducifolia. A flora é rica em mimosóides, euforbiáceas e cactáceas. São raras as árvores, predominando o porte arbustivo.

O relevo é levemente ondulado e o microrrelevo bastante regular.

O Projeto acha-se numa área de latossolos que se caracterizam pela boa drenagem e pela baixa capacidade de retenção de água.

O Projeto está estrategicamente localizado nas margens da BR-122, o que permite livre acesso às demais regiões do País e o escoamento da produção para os centros consumidores.

No interior da área o tráfego é feito por meio de estradas centrais e de serviço, que interligam as vilas às parcelas de exploração agrícola.

A infra-estrutura de irrigação tem como função básica conduzir a água bombeada do rio São Francisco para as parcelas dos usuários. O sistema hidráulico (3) é formado por cinco estações de bombeamento.

A rede de drenagem do Projeto é constituída de coletores, subcoletores e drenos parcelares, com vistas ao escoamento do excesso de água de irrigação e de precipitação. Sua extensão é da ordem de 37.000 metros. Ainda há mais 78 poços piezométricos.

A população é de aproximadamente 1.700 habitantes, 68% fixos e 32% flutuantes. A população considerada fixa é constituída por parceiros e funcio-

nários da CODEVASF e seus familiares, cujas residências estão distribuídas em sete vilas no interior da área.

Há duas escolas, onde são ministradas as cinco primeiras séries do primeiro grau, atendendo às necessidades educacionais básicas da população vinculada ao Projeto.

Para satisfazer as necessidades básicas da comunidade, no setor, a Cooperativa firmou convênio com o Fundo de Assistência ao Trabalhador Rural — FUNRURAL, para captar recursos financeiros destinados à fixação de médico, dentista e pessoal auxiliar — elementos indispensáveis ao êxito do programa de saúde e à manutenção do ambulatório instalado na área.

2.2. Dados

Os dados básicos são originários do Plano Agrícola/1980 da CAMPPIB.

Os dados correspondentes aos aspectos econômicos, uso da terra, infra-estrutura, aspectos demográficos, estrutura da produção, comportamento atual de cultivos, mecanização e fertilização, dentre outros, foram obtidos na CAMPPIB.

Os dados referentes às outras características da região, que abrangem aspectos físicos (delimitação da área, solos, recursos hidrológicos, climatologia e vegetação), programas prioritários e análise das superfícies irrigadas, foram fornecidos pela CODEVASF.

2.3. Instrumental Analítico

A técnica analítica utilizada foi a programação linear, por ser um procedimento amplamente empregado para a solução de problemas agrícolas referentes à otimização do uso dos recursos.

O uso dessa metodologia para solucionar o problema de otimização vem sendo cada vez mais intensificado no campo da economia agrícola, porque tais problemas referem-se ao uso de recursos escassos, com o fim de alcançar objetivos mais desejáveis, com base nos critérios estabelecidos.

As características gerais de um problema de programação linear estabelecem-se mediante um modelo matemático que inclui (4, 5, 7) a função-objetivo, as restrições, as atividades e as pressuposições.

A função-objetivo define o resultado a otimizar e é expressa por meio de uma equação linear explícita, do tipo

$$\text{Max } Z = \sum_{j=1}^n C_j X_j = C_1 X_1 + C_2 X_2 + \dots + C_n X_n,$$

na qual Z é o retorno líquido total; X_1, X_2, \dots, X_n são as incógnitas, que correspondem às atividades do modelo, e C_1, C_2, \dots, C_n são os coeficientes conhecidos, que correspondem aos lucros de cada uma das atividades.

As restrições, de modo geral, referem-se aos recursos disponíveis e são expressas por meio de inequações, que indicam que a quantidade dos recursos empregados nas diversas atividades não deve exceder a quantidade disponível.

Essas restrições são representadas por meio de um conjunto de inequações

lineares do tipo

$$a_{11}X_1 + a_{12}X_2 + \dots + a_{1n}X_n \leq b_1$$

$$a_{21}X_1 + a_{22}X_2 + \dots + a_{2n}X_n \leq b_2$$

$$\begin{matrix} \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \end{matrix}$$

$$a_{m1}X_1 + a_{m2}X_2 + \dots + a_{mn}X_n \leq b_m$$

no qual os a_{ij} são os coeficientes técnicos, que se supõe constantes e que indicam a quantidade de recursos que se emprega em cada unidade de atividade.

Os b_i ($i = 1, 2, \dots, m$) são os parâmetros que designam as quantidades disponíveis de recursos.

O processo matemático de resolução impõe que as restrições sejam do tipo $X_j \geq 0$ ($j = 1, 2, \dots, n$).

As atividades utilizadas no modelo são reais e foram otimizadas.

Procurou-se formular um modelo que, com as características de exploração da área, permitisse determinar os melhores planos parcelares, adequando-os às finalidades do estudo, mediante esquematização matricial própria do instrumental utilizado.

O modelo básico apresentado neste trabalho está na forma matricial, literal e reduzida (Quadro 1).

2.4. Atividades e Recursos

As atividades foram divididas em dois grupos: produtivas e de compra de insumos. As primeiras incluem o cultivo de alho, cebola, feijão, melão, melancia, milho e tomate nos onze estratos de parcelas. O coeficiente da função-objetivo representa o retorno líquido proporcionado pela atividade. As últimas referem-se à aquisição de mão-de-obra, força mecânica, força animal, água para irrigação e capital de giro.

As restrições são representadas pelos recursos terra, mão-de-obra, força mecânica, força animal, água para irrigação, capital de giro e limite de capacidade de empréstimo.

As 107 parcelas de terra irrigada, com módulos de 3,99 a 14,39 ha, totalizando 950 ha, foram agrupadas em 11 estratos, a intervalos de classe de 1 ha. A área explorada durante o ano foi representada pelo resultado da multiplicação da área média irrigada de cada estrato por um índice de utilização da terra, igual a 1,5 (Quadro 2).

A mão-de-obra foi desagregada em quatro períodos distintos durante o ciclo de cultivo.

A força mecânica foi dividida em dois períodos, conforme era utilizada no preparo de solo ou no serviço de trilhagem.

A força animal teve critério de desagregação idêntico ao da mão-de-obra e da força mecânica, tendo sido dividida em três períodos de utilização.

A disponibilidade de água para irrigação corresponde à capacidade do canal principal, ou seja, 9.720 m³/ha, dez horas por dia, durante 300 dias no ano.

O capital de giro foi determinado pelo valor dos serviços e insumos consumidos por um hectare de terra da atividade. Foram consideradas três modalidades de capital de giro, de acordo com a taxa de juros cobrada pelo agente financeiro.

A capacidade de empréstimo refere-se ao limite de empréstimos. Foi calculada

QUADRO 1 - Modelo de programação linear, literal, na forma reduzida

Atividades	Alho	Cebola	Folho	Melão	Melancia	Milho	Tomate	Compra de mão-de-obra	Compra de força mecânica	Compra de força animal	Compra de água para irrigação	Compra de capital de giro
	Unidades	ha	ha	ha	ha	ha	ha	d.h	h.m	d.a	m ³	€\$
Recursos	Inógnitas	X ₁ ... X ₁₁	X ₁₂ ... X ₂₂	X ₃₄ ... X ₄₄	X ₄₅ ... X ₅₅	X ₅₆ ... X ₆₆	X ₆₇ ... X ₇₇	X ₇₈ ... X ₈₁	X ₈₂ ... X ₈₃	X ₈₄ ... X ₈₅	X ₈₇	X ₈₈ ... X ₉₀
	Função-Objetivo	C ₁ ... C ₁₁	C ₁₂ ... C ₂₂	C ₃₄ ... C ₄₄	C ₄₅ ... C ₅₅	C ₅₆ ... C ₆₆	C ₆₇ ... C ₇₇	-C ₇₈ ... -C ₈₁	-C ₈₂ ... -C ₈₃	-C ₈₄ ... -C ₈₅	-C ₈₇	-C ₈₈ ... -C ₉₀
	Restrições	S ₁ ... S ₁₁	S ₁₂ ... S ₂₂	S ₃₄ ... S ₄₄	S ₄₅ ... S ₅₅	S ₅₆ ... S ₆₆	S ₆₇ ... S ₇₇	S ₇₈ ... S ₈₁	S ₈₂ ... S ₈₃	S ₈₄ ... S ₈₅	S ₈₇	S ₈₈ ... S ₉₀
	Restrições	S ₁ ... S ₁₁	S ₁₂ ... S ₂₂	S ₃₄ ... S ₄₄	S ₄₅ ... S ₅₅	S ₅₆ ... S ₆₆	S ₆₇ ... S ₇₇	S ₇₈ ... S ₈₁	S ₈₂ ... S ₈₃	S ₈₄ ... S ₈₅	S ₈₇	S ₈₈ ... S ₉₀
	Restrições	S ₁ ... S ₁₁	S ₁₂ ... S ₂₂	S ₃₄ ... S ₄₄	S ₄₅ ... S ₅₅	S ₅₆ ... S ₆₆	S ₆₇ ... S ₇₇	S ₇₈ ... S ₈₁	S ₈₂ ... S ₈₃	S ₈₄ ... S ₈₅	S ₈₇	S ₈₈ ... S ₉₀
	Restrições	S ₁ ... S ₁₁	S ₁₂ ... S ₂₂	S ₃₄ ... S ₄₄	S ₄₅ ... S ₅₅	S ₅₆ ... S ₆₆	S ₆₇ ... S ₇₇	S ₇₈ ... S ₈₁	S ₈₂ ... S ₈₃	S ₈₄ ... S ₈₅	S ₈₇	S ₈₈ ... S ₉₀
	Restrições	S ₁ ... S ₁₁	S ₁₂ ... S ₂₂	S ₃₄ ... S ₄₄	S ₄₅ ... S ₅₅	S ₅₆ ... S ₆₆	S ₆₇ ... S ₇₇	S ₇₈ ... S ₈₁	S ₈₂ ... S ₈₃	S ₈₄ ... S ₈₅	S ₈₇	S ₈₈ ... S ₉₀
	Restrições	S ₁ ... S ₁₁	S ₁₂ ... S ₂₂	S ₃₄ ... S ₄₄	S ₄₅ ... S ₅₅	S ₅₆ ... S ₆₆	S ₆₇ ... S ₇₇	S ₇₈ ... S ₈₁	S ₈₂ ... S ₈₃	S ₈₄ ... S ₈₅	S ₈₇	S ₈₈ ... S ₉₀
	Restrições	S ₁ ... S ₁₁	S ₁₂ ... S ₂₂	S ₃₄ ... S ₄₄	S ₄₅ ... S ₅₅	S ₅₆ ... S ₆₆	S ₆₇ ... S ₇₇	S ₇₈ ... S ₈₁	S ₈₂ ... S ₈₃	S ₈₄ ... S ₈₅	S ₈₇	S ₈₈ ... S ₉₀
	Restrições	S ₁ ... S ₁₁	S ₁₂ ... S ₂₂	S ₃₄ ... S ₄₄	S ₄₅ ... S ₅₅	S ₅₆ ... S ₆₆	S ₆₇ ... S ₇₇	S ₇₈ ... S ₈₁	S ₈₂ ... S ₈₃	S ₈₄ ... S ₈₅	S ₈₇	S ₈₈ ... S ₉₀
Terra 1	S ₁	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0					
Terra 11	S ₁₁	1,0										
MO 1	S ₁₂	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0					
MO 4	S ₁₅	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0					
MO 15	S ₁₆	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0					
MO 16	S ₁₇	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0					
MO 17	S ₁₈	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0					
MO 18	S ₁₉	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0					
MO 19	S ₂₀	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0					
MO 20	S ₂₁	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0					
MO 21	S ₂₂	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0					
MO 22	S ₂₃	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0					
MO 23	S ₂₄	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0					
MO 24	S ₂₅	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0					
MO 26	S ₂₆	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0					
MO 27	S ₂₇	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0					
MO 28	S ₂₈	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0					
MO 29	S ₂₉	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0					
MO 30	S ₃₀	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0					
MO 31	S ₃₁	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0					
MO 32	S ₃₂	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0					
MO 33	S ₃₃	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0					
MO 34	S ₃₄	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0					
MO 35	S ₃₅	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0					
MO 36	S ₃₆	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0					
MO 37	S ₃₇	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0					
MO 38	S ₃₈	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0					
MO 39	S ₃₉	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0					
MO 40	S ₄₀	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0					
MO 41	S ₄₁	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0					
MO 42	S ₄₂	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0					
MO 43	S ₄₃	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0					
MO 44	S ₄₄	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0					
MO 45	S ₄₅	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0					
MO 46	S ₄₆	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0					
MO 47	S ₄₇	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0					
MO 48	S ₄₈	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0					
MO 49	S ₄₉	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0					
MO 50	S ₅₀	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0					
MO 51	S ₅₁	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0					
MO 52	S ₅₂	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0					
MO 53	S ₅₃	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0					
MO 54	S ₅₄	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0					
MO 55	S ₅₅	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0					
MO 56	S ₅₆	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0					
MO 57	S ₅₇	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0					
MO 58	S ₅₈	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0					
MO 59	S ₅₉	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0					
MO 60	S ₆₀	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0					
MO 61	S ₆₁	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0					
MO 62	S ₆₂	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0					
MO 63	S ₆₃	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0					
MO 64	S ₆₄	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0					
MO 65	S ₆₅	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0					
MO 66	S ₆₆	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0					
MO 67	S ₆₇	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0					
MO 68	S ₆₈	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0					
MO 69	S ₆₉	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0					
MO 70	S ₇₀	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0					
MO 71	S ₇₁	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0					
MO 72	S ₇₂	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0					
MO 73	S ₇₃	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0					
MO 74	S ₇₄	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0					
MO 75	S ₇₅	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0					
MO 76	S ₇₆	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0					
MO 77	S ₇₇	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0					
MO 78	S ₇₈	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0					
MO 79	S ₇₉	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0					
MO 80	S ₈₀	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0					
MO 81	S ₈₁	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0					
MO 82	S ₈₂	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0					
MO 83	S ₈₃	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0					
MO 84	S ₈₄	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0					
MO 85	S ₈₅	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0					
MO 86	S ₈₆	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0					
MO 87	S ₈₇	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0					
MO 88	S ₈₈	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0					
MO 89	S ₈₉	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0					
MO 90	S ₉₀	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0					
MO 91	S ₉₁	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0					
MO 92	S ₉₂	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0					
MO 93	S ₉₃	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0					
MO 94	S ₉₄	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0					
MO 95	S ₉₅	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0					
MO 96	S ₉₆	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0					
MO 97	S ₉₇	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0					
MO 98	S ₉₈	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0					
MO 99	S ₉₉	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0					
MO 100	S ₁₀₀	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0					

Continuação
QUADRO 1 - Modelo de programação linear, literal, na forma reduzida

Atividades	Alho	Cebola	Feijão	Melão	Melancia	Milho	Tomate	Compra de mão-de-obra	Compra de força mecânica	Compra de força animal	Compra de água para irrigação	Compra de capital de giro
Inócuas	$X_1 \dots X_{11}$	$X_{12} \dots X_{22}$	$X_{23} \dots X_{33}$	$X_{34} \dots X_{44}$	$X_{45} \dots X_{55}$	$X_{56} \dots X_{66}$	$X_{67} \dots X_{77}$	$X_{78} \dots X_{81}$	X_{82}	X_{83}	X_{84}	X_{85}
Função-Objetivo	$C_1 \dots C_{11}$	$C_{12} \dots C_{22}$	$C_{23} \dots C_{33}$	$C_{34} \dots C_{44}$	$C_{45} \dots C_{55}$	$C_{56} \dots C_{66}$	$C_{67} \dots C_{77}$	$C_{78} \dots C_{81}$	C_{82}	C_{83}	C_{84}	C_{85}
Unidades	ha	ha	ha	ha	ha	ha	ha	d.h	h.m	d.a	m ²	m ²
ha				1,0								X_{88}
S_{59}											X_{87}	X_{89}
S_{60}				1,0								X_{90}
S_{69}												C_{88}
S_{70}												C_{89}
S_{80}												C_{90}
S_{81}												C_{91}
S_{91}												C_{92}
S_{92}												C_{93}
S_{102}												C_{94}
S_{103}												C_{95}
S_{104}												C_{96}
S_{105}												C_{97}
S_{106}												C_{98}
S_{107}												C_{99}
S_{108}												C_{100}
S_{109}												C_{101}

Nome dos Recursos: MO = mão-de-obra
 PM = força mecânica
 FA = força animal
 ABT = água para irrigação
 NG = capital de giro
 CEM = capacidade de empréstimo

PTAL = produção total de alho
 PTCE = produção total de cebola
 PTFE = produção total de feijão
 PTME = produção total de melão
 PTML = produção total de melancia
 PTMI = produção total de milho
 PTMO = produção total de tomate

QUADRO 2 - Parcelas agrícolas segundo a área média explorada do Projeto de Irrigação de Bebedouro, Petrolina-PE, 1980

Estrato	Número de parcelas	Área irrigada total (ha)	Área média irrigada x 1,5 (ha)
1 (terra 1)	2	8,24	6,18
2 (terra 2)	6	34,38	8,59
3 (terra 3)	16	103,31	9,69
4 (terra 4)	17	126,47	11,16
5 (terra 5)	24	204,95	12,81
6 (terra 6)	8	75,08	14,07
7 (terra 7)	9	94,82	15,81
8 (terra 8)	13	149,64	17,26
9 (terra 9)	8	98,13	18,24
10 (terra 10)	3	40,58	20,29
11 (terra 11)	1	14,39	21,58

com base na capacidade de pagamento. Para uma descrição mais minuciosa das atividades e dos recursos, consulte REIS (8).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Tendo em vista o desenvolvimento sistemático do estudo, resolveu-se fazer, em primeiro lugar, uma apresentação global dos resultados obtidos com a utilização do modelo básico descrito anteriormente. Posteriormente, serão descritos os resultados referentes às parcelas agrícolas, além de analisadas as atividades consideradas nos planos parcelares.

3.1. Resultados Globais

Os resultados da distribuição das áreas de cada atividade entre as diferentes parcelas mostram que toda a área disponível foi incorporada ao processo produtivo. Na verdade, esse resultado era esperado, uma vez que a área de cada cultura fora definida no plano agrícola, tendo sido imposta a condição de que a referida área fosse considerada no modelo. Portanto, a área de 5,0 ha ocupada com a cultura de alho no Projeto corresponde exatamente à fixada pela programação agrícola de 1980. O mesmo ocorreu com as demais atividades produtivas: 130 ha de cebola, 130 ha de feijão, 550 ha de melancia, 130 ha de melão, 20 ha de milho e 460 ha de tomate. Algumas parcelas não foram contempladas com as culturas de alho, feijão e milho. Isso foi previsto no modelo, com o objetivo de elevar a renda líquida das parcelas menores.

A renda líquida total, de Cr\$ 49.697.621,00, representou o retorno máximo, dentro dos critérios utilizados na determinação dos planos parcelares. O índice de retorno foi 2,16, o que indica que, para cada Cr\$ 1,00 empregado, houve um retorno de Cr\$ 2,16.

Dentro das estimativas de recursos disponíveis, em termos globais, verificou-se que a mão-de-obra não foi suficiente, sendo necessária aquisição complementar para a consecução do plano agrícola. Observou-se, «in loco», que a cooperativa, durante a adoção do plano agrícola, contratou mão-de-obra e força mecânica eventuais, quando, na verdade, a força mecânica disponível era suficiente. Logo, pode-se concluir que a eficiência na alocação desse fator de produção pode ser melhorada.

3.2. Resultados Parcelares

Os resultados compõem-se dos planos ótimos de cultivos, renda líquida e exigências de recursos para as parcelas representativas do projeto, originados da solução do modelo básico que orientou o estudo.

Na determinação dos planos ótimos de cultivos para as parcelas utilizou-se toda a área disponível para cada atividade produtiva, haja vista que o objetivo maior era atender ao planejamento global da empresa cooperativa, mediante a maximização do retorno líquido dos parceleiros.

O conceito de retorno líquido usado neste trabalho é estritamente econômico. Refere-se ao lucro sobrenormal da atividade, traduzido pela diferença entre a renda bruta e as despesas totais com a atividade.

Diante das múltiplas alternativas existentes, optou-se por um critério que apresentasse o maior retorno líquido por hectare para os estratos de menor área física. Para isso, foram incluídas no modelo restrições que limitassem a área máxima e mínima de cada atividade, de forma que fossem obtidos planos diversificados de cultivos, coerentes com os tamanhos das parcelas (Quadro 3).

QUADRO 3 - Determinação dos planos parcelares ótimos para o Projeto de Irrigação de Bebedouro, Petrolina-PE, 1980

Estrato	Atividades (em ha)						Total (ha)
	Alho	Cebola	Feijão	Melancia	Melão	Milho	Tomate
1	0,5	2,0	-	1,0	1,7	-	1,0
2	0,5	2,0	0,2	3,0	1,8	-	1,0
3	0,1	1,0	1,0	2,6	1,0	-	4,0
4	-	1,0	1,0	3,2	1,0	-	5,0
5	-	1,0	1,0	4,8	1,0	-	5,0
6	-	2,0	1,0	7,0	1,6	-	2,5
7	-	1,0	2,0	8,0	1,0	-	3,8
8	-	1,0	2,0	7,3	1,0	-	6,0
9	-	1,4	2,0	8,0	2,0	1,9	3,1
10	-	2,0	1,0	8,0	2,0	1,0	6,3
11	-	2,0	1,0	8,0	2,0	1,6	7,0
							21,6

Quanto ao retorno líquido por parcela, os critérios utilizados na determinação dos planos parcelares ótimos não comprometeram a lógica do estudo, uma vez que a renda líquida aumentou, sucessivamente, das menores para as maiores parcelas (Quadro 4).

A apresentação das estimativas de recursos para as parcelas tem a finalidade de fornecer informações que permitam ao parceleiro prever a quantidade de recursos que deverá ser adquirida durante a adoção do plano. Tais informações são particularmente importantes em relação à mão-de-obra, uma vez que 85% desse recurso, em média, devem ser adquiridos por meio de contratações eventuais (Quadro 5).

3.3. *Análise das Atividades Produtivas*

As atividades consideradas no plano agrícola foram distribuídas entre as diferentes parcelas típicas, com base nos critérios de lucratividade, área total programada e equidade social, considerando os possíveis efeitos dos planos individuais sobre a distribuição de renda entre os parceiros. Assim, a cultura do alho, que apresentou retorno líquido mais elevado, dentre todas as atividades contidas na programação agrícola da Cooperativa, foi distribuída, de preferência, entre as parcelas menores. Além disso, cada parcela, individualmente, não podia ser contemplada com uma área maior que 0,5 hectare da referida cultura, uma vez que o plano global previa, apenas, o plantio de 5 hectares de alho. Procurou-se, com isso, beneficiar, intencionalmente, os parceiros que ocupavam as áreas menores, que, relativamente, tinham menores possibilidades de ganhos líquidos de renda, quando comparados com os favorecidos com parcelas maiores.

A cultura do milho, que apresentou baixo retorno líquido por hectare, foram atribuídas restrições que limitavam seu cultivo às parcelas maiores. Com isso, essa cultura participou, em diferentes níveis, nos planos individuais dos parceiros com áreas maiores, obedecendo-se, ainda, ao limite de área, fixado em 20 hectares pelo plano agrícola da Cooperativa.

Para a cultura do feijão, os critérios foram praticamente semelhantes. Essa cultura apresentou o menor retorno líquido por hectare, em comparação com as diversas atividades incluídas no plano agrícola; entretanto, o mesmo plano indicava a necessidade de cultivo de 130 hectares da referida cultura. Assim, foram estabelecidas algumas restrições para que essa exploração figurasse em todos os estratos, restrita a uma área máxima de 1 hectare para a faixa dos estratos menores e a 2 hectares para a dos estratos maiores.

Quanto às atividades cebola, melancia, melão e tomate, por apresentarem maior vantagem comparativa sobre o feijão e milho, optou-se por considerá-las recomendáveis para todos os estratos; tal critério foi fundamentado, ainda, nas áreas individuais programadas pela Cooperativa, fixadas em 130 ha, 550 ha, 130 ha e 460 ha, respectivamente. Assim, o modelo básico foi programado para contemplar todos os estratos com, pelo menos, 1 hectare de cada uma dessas atividades.

Com esse conjunto de critérios, simultaneamente considerados, tornou-se possível o estabelecimento de planos ótimos para as parcelas que proporcionassem a maximização da renda dos parceiros, além de permitirem que o maior retorno líquido por hectare do conjunto de atividades beneficiasse a menor parcela e decrescesse, sucessivamente, das menores para as maiores parcelas (Quadro 6).

Do ponto de vista econômico, pode-se esperar uma relação direta entre retorno total líquido e área total da parcela, considerando a mesma tecnologia (o caso deste estudo). O emprego dos critérios descritos anteriormente teve o objetivo de reduzir a magnitude dessa relação, tendo em vista que, socialmente, as desigualdades de renda

QUADRO 4 - Renda líquida, por parcela, do Projeto de Irrigação de Bebedouro, Petrolina-PE, 1980

Estrato	Atividades (em Cr\$)						Total (ha)
	Alho	Cebola	Feijão	Melancia	Melão	Milho	Tomate
1	49.324	115.908	-	35.683	76.848	-	32.293
2	49.324	115.908	2.769	107.049	81.369	-	32.293
3	9.864	57.954	13.846	92.776	45.205	-	129.172
4	-	57.954	13.846	114.186	45.205	-	161.465
5	-	57.954	13.846	171.278	45.205	-	161.465
6	-	115.908	13.846	249.781	72.328	-	80.732
7	-	57.954	27.692	285.464	45.205	-	112.713
8	-	57.954	27.692	260.486	45.205	-	193.758
9	-	81.136	27.692	285.464	90.410	46.193	100.108
10	-	115.908	13.846	285.464	90.410	24.312	203.446
11	-	115.908	13.846	285.464	90.410	38.899	226.051
Total	108.512	950.446	168.921	2.173.095	727.800	109.404	1.443.496
							5.681.674

QUADRO 5 - Estimativas de exigência de recursos, para as parcelas, para a execução do plano agrícola do Projeto de Irrigação de Bebedouro, Petrolina-PE, 1980

Estrato	Recursos				Capital de giro (Cr\$)
	Mão-de-obra (d.h)	Força mecânica (h.m)	Força animal (d.a)	Água para irrigação (m ³)	
1	1.186	42	18	38.500	247.644
2	1.423	56	27	48.000	297.246
3	1.530	62	30	53.200	270.279
4	1.752	71	35	60.800	302.337
5	1.917	81	42	67.200	336.881
6	2.014	91	47	72.000	386.086
7	2.105	101	53	77.800	385.695
8	2.446	110	57	88.200	430.246
9	2.394	121	62	93.200	459.886
10	2.981	130	68	106.800	545.139
11	3.168	139	72	114.600	575.244

QUADRO 6 - Retorno líquido, por hectare, por parcela, no Projeto de Irrigação de Bebedouro, Petrolina-PE, 1980

Estrato	Retorno líquido/ha (Cr\$)	Estrato	Retorno líquido/ha (Cr\$)
1	50.171,00	7	34.094,00
2	45.251,00	8	33.899,00
3	35.997,00	9	34.275,00
4	35.184,00	10	36.145,00
5	35.109,00	11	35.708,00
6	37.853,00	-	-

entre parceiros são indesejáveis e prejudiciais ao sucesso de qualquer programa de colonização.

Convém ressaltar, ainda, que, num planejamento global, em que os parceiros devem assumir a responsabilidade de adoção e execução de todas as atividades produtivas contempladas no plano agrícola, o modelo básico adotado neste estudo foi suficientemente flexível para permitir o planejamento das parcelas, possibilitando conexão razoavelmente perfeita e consistente dos planos individuais dos parceiros com os propósitos mais amplos da Cooperativa, expressos no plano agrícola.

Os resultados indicam que o modelo proposto pode ser estendido a outras situações, desde que adaptado às características locais dos programas de colonização dirigida.

4. RESUMO E CONCLUSÕES

O aproveitamento do potencial de irrigação do Vale do São Francisco faz parte de um amplo programa sócio-econômico para a região.

Entre os projetos de irrigação já em operação, destaca-se o de Bebedouro, cujas experiências e resultados testemunham o sucesso que poderá advir dos projetos em fase de aplicação. Esse Projeto tem uma superfície agrícola útil de 950 hectares, explorada, em parcelas de 5 a 14 hectares, por 107 produtores associados à Cooperativa Agrícola Mista do Projeto de Irrigação de Bebedouro — CAMPIB.

O objetivo principal deste estudo foi obter planos ótimos de cultivos para parcelas, utilizando a programação linear, que servissem de ponto de partida para uma programação de atividades agrícolas capaz de permitir melhor combinação de explorações, com maior eficiência operacional e máxima rentabilidade econômica para os parceiros vinculados ao projeto.

O estudo permitiu que se chegasse às seguintes conclusões:

a) os critérios utilizados na determinação dos planos ótimos para as parcelas não comprometeram a lógica do estudo, uma vez que a renda líquida aumentou, sucessivamente, das menores para as maiores parcelas;

b) oitenta e cinco por cento da mão-de-obra, em média, devem ser adquiridos por intermédio de contratações eventuais;

c) a cultura do alho, que apresentou retorno líquido mais elevado, dentre todas as atividades contidas na programação agrícola da cooperativa, foi distribuída entre as parcelas menores;

d) o cultivo do milho, que apresentou baixo retorno líquido por hectare, foi restrito às parcelas maiores;

e) as culturas de cebola, melancia, melão e tomate foram consideradas recomendáveis para todos os estratos;

f) com os critérios adotados, expressos pelas restrições consideradas no modelo, a eficiência do uso dos recursos disponíveis foi melhorada e fez com que os maiores retornos líquidos por hectare recaíssem sobre as parcelas de menor área física;

g) tendo em vista os princípios de equidade e justiça social, o estudo constituiu instrumento bastante valioso, uma vez que sua aplicabilidade exigirá dos planejadores decisões lógicas e justas, tanto no aspecto econômico como no social.

Em vista das conclusões deste estudo, algumas sugestões seriam úteis ao aperfeiçoamento do trabalho dos planejadores. São necessários estudos que forneçam informações sobre a viabilidade da expansão da cultura do alho, que apresentou o maior retorno líquido por área. Sugere-se a formação de uma equipe de trabalho para orientar, coordenar e supervisionar o levantamento periódico das informações referentes à tecnologia adotada pelos parceiros e respectivas relações técnicas. Finalmente, com respeito ao modelo usado, deve-se reconhecer a necessidade de seu aperfeiçoamento.

Seria interessante, do ponto de vista dos parceiros e da própria CAMPB, seu aperfeiçoamento, por meio da introdução do fator risco.

5. SUMMARY

This paper is concerned with the Bebedouro Irrigation Project in the São Francisco Valley, município of Petrolina, State of Pernambuco. The central objective was to develop an optimum crop plan (in terms of cropping proportions) at plot level. Linear programming was used as a tool to determine the combination of activities that maximize net returns to the farmer's fixed resources.

The importance of this study is based on the fact that the determination of optimum crop plans which indicate the best use of available resources is instrumental for the selected area and other areas in the São Francisco Valley that operate under similar conditions.

Data on technical coefficients, amounts of resources, activities to be considered in the plan, and prices of inputs and outputs were obtained through the cooperative of the Bebedouro Irrigation Project. The 107 plots of areas ranging from 3,99 to 14,39 ha were grouped into eleven classes or modules. The objective function is expressed in net income.

The main results and conclusions were: the net return increased from the smaller to the larger plots; the «parceiro» must hire 85% of labor needs; garlic production showed the highest returns, was given priority and forced into the smaller plot plans; corn production, on the other hand, given its low return, was forced into the larger plans. Onions, watermelon, honey dew melon and tomato production were included in every plot plan.

The efficiency of resource use improved as compared with the prevalent situation. The mix of activities allowed higher net income per hectare for small plots.

6. LITERATURA CITADA

1. ANDREAZZA, M.D. *Irrigação: fator da maior importância para o desenvolvimento econômico e social do nordeste*. ITEM — Irrigação e Tecnologia Moderna, 2:4-5, 1980.
2. BRASIL, Presidência da República. *II PND; II Plano Nacional de Desenvolvimento (1975-1979)*. Rio de Janeiro, 1974. 149 p.
3. CODEVASF, Brasília. *Filial de produção de Bebedouro; setor de operação e manutenção*. Petrolina-Pe, 1976. S.p.
4. FRAZER, J.R. *Programación lineal aplicada*. México, Editora Técnica S.A., 1968. 204 p.
5. PUCCINE, A. de L. *Introdução à programação linear*. Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos Editora, 1972. 252 p.

6. REIS, M.M. *Determinação de planos ótimos, a nível parcelar, no Projeto de Irrigação de Bebedouro, Município de Petrolina-Pe.* Viçosa, U.F.V., Imprensa Universitária, 1980. 86 p. (Tese M.S.).
7. SALMITO FILHO, V. *Agroindústria para o Nordeste.* Fortaleza-Ce, 1977. 48 p.
8. STOCKTON, R.S. *Introdução à programação linear.* São Paulo, Editora Atlas S/A, 1975. 136 p.