

JERSONE TASSO MOREIRA SILVA

**TOMADA DE DECISÃO SOB CRITÉRIOS MÚLTIPLOS:
UMA APLICAÇÃO AO PROJETO DE IRRIGAÇÃO DO JAÍBA**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Economia Rural, para obtenção do título de “Doctor Scientiae”.

VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
2001

JERSONE TASSO MOREIRA SILVA

**TOMADA DE DECISÃO SOB CRITÉRIOS MÚLTIPLOS:
UMA APLICAÇÃO AO PROJETO DE IRRIGAÇÃO DO JAÍBA**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Economia Rural, para obtenção do título de “Doctor Scientiae”.

APROVADA: 20 de julho de 2001.

Carlos Antônio Alvares S. Ribeiro

Wilson da Cruz Vieira

Marília Fernandes Maciel Gomes

Carlos Antônio Moreira Leite
(Conselheiro)

Heleno do Nascimento Santos
(Orientador)

Aos meus pais Otavino e Marilza.

À Raquel.

À minha irmã Jessane.

AGRADECIMENTO

A Deus, pela vida, pela esperança, pela saúde e pelos amigos que encontrei na vida acadêmica e profissional.

À Universidade Federal de Viçosa e ao Departamento de Economia Rural, pela oportunidade de realizar este curso.

À CAPES, pelo financiamento desta pesquisa ao longo do Programa.

Ao professor Heleno do Nascimento Santos, pela competente orientação, pelo incentivo, pela amizade e pela compreensão de minhas limitações.

Aos professores conselheiros Carlos Antônio Moreira Leite e Carlos Arthur Barbosa da Silva, pelo auxílio valioso e pelas sugestões, enriquecendo sobremaneira esta pesquisa.

Ao Dr. Márcio Antônio de Campus Coury, Coordenador Geral do Projeto de Irrigação do Jaíba, pelas sugestões e pelo fornecimento do material bibliográfico.

Aos meus colegas do Programa de Pós-Graduação, pela amizade e pelo convívio. Em particular, ao amigo Guilherme Cunha Malafaia, pelas longas conversas e pelo espírito de companheirismo apresentado.

Aos funcionários do Departamento de Economia Rural, pela disponibilidade e colaboração.

À Graça Freitas, pela amizade e competência apresentada ao longo desses anos.

Aos professores do Departamento de Economia Rural, que contribuíram para que eu tivesse um aprendizado de excelência.

Ao Dr. Honório Tomelin, Diretor-Executivo da União de Negócios e Administração (UNA), que acreditou e me apoiou nos momentos mais difíceis dessa árdua trajetória.

Ao Magnífico Reitor do Centro Universitário de Ciências Gerenciais, Dr. Álvaro José Cunha, pela compreensão na fase de conclusão da pesquisa.

À minha irmã Jessane Geyce Moreira Silva, que foi minha fonte de inspiração.

À minha mãe Marilza Sobreira Moreira Silva, pelo apoio incondicional, pois sem ele não teria realizado os meus sonhos.

Ao meu pai Otavino Alves da Silva, por ter me iluminado a fazer Economia.

À minha esposa Raquel Vieira Resende, pelo companheirismo, amor, pela compreensão e pela força para enfrentar os desafios que me fazem crescer.

A todos que me apoiaram e acreditaram em mim.

BIOGRAFIA

JERSONE TASSO MOREIRA SILVA, filho de Otavino Alves da Silva e Marilza Sobreira Moreira Silva, nasceu em João Pessoa, Paraíba, em 19 de janeiro de 1967. Em 1989, bacharelou-se em Economia pela Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais.

Em fevereiro de 1990, iniciou o Curso de Mestrado em Economia pela San Diego State University, San Diego, Califórnia, obtendo o título de “Master of Arts” em maio de 1993.

Em 1994, exerceu a função de assessor econômico da Câmara de Dirigentes Lojistas de Belo Horizonte, em Minas Gerais. No mesmo período, foi admitido como professor assistente nas Faculdades Integradas Newton Paiva, hoje Centro Universitário Newton Paiva, em Belo Horizonte, Minas Gerais.

Em 1995, foi admitido como professor assistente na Faculdade de Ciências Gerenciais (UNA), hoje Centro Universitário de Ciências Gerenciais (CCG/UNA), em Belo Horizonte, Minas Gerais.

Em 1996, licenciou-se das duas instituições de ensino para iniciar o Curso de Doutorado em Economia Rural, no Departamento de Economia Rural da Universidade Federal de Viçosa, em Minas Gerais.

Em 2000, foi eleito diretor da Faculdade de Ciências Econômicas do Centro Universitário de Ciências Gerenciais (CCG/UNA), em Belo Horizonte, Minas Gerais.

ÍNDICE

	Página
LISTA DE QUADROS	ix
LISTA DE FIGURAS	xviii
RESUMO	xx
ABSTRACT	xxiii
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. O problema e sua importância	3
1.1.1. O Noroeste Mineiro	9
1.1.1.1. O Projeto de Irrigação do Jaíba	11
1.2. Objetivos	27
1.3. Organização do estudo	28
2. REFERENCIAL TEÓRICO	30
2.1. Tomada de decisão sob critérios múltiplos	30
2.2. Método de análise hierárquica	40

	Página
2.3. Programação linear com objetivos múltiplos	55
3. REFERENCIAL ANALÍTICO	63
3.1. Dados e regiões de estudo	63
3.2. Formulação dos modelos	65
3.2.1. Modelagem pelo método de ponderação	68
3.2.2. Modelagem pelo método de geração de soluções eficientes ...	69
3.3. O uso do método de análise hierárquica (MAH)	70
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	73
4.1. Aplicação do método de análise hierárquica nas glebas de coloni- zação do Projeto de Irrigação do Jaíba	74
4.2. Método de ponderação	77
4.3. Método de geração de soluções eficientes	121
5. RESUMO E CONCLUSÕES	168
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	176
APÊNDICES	182
APÊNDICE A	183
APÊNDICE B	191
APÊNDICE C	197

LISTA DE QUADROS

	Página
1	Etapas de implantação do Projeto Jaíba, MG 13
2	Distribuição dos lotes para a gleba A da etapa 1 do Projeto de Irrigação do Jaíba 14
3	Distribuição dos lotes para a gleba B da etapa 1 do Projeto de Irrigação do Jaíba 15
4	Distribuição dos lotes para a gleba F da etapa 1 do Projeto de Irrigação do Jaíba 15
5	Distribuição dos lotes para a gleba C3 da etapa 1 do Projeto de Irrigação do Jaíba 16
6	Receitas arrecadadas pelos pequenos irrigantes e empresários, em R\$, no ano de 1999 21
7	Área plantada, produção e valor comercializado de produtos selecionados da fruticultura na área de colonização, no período de janeiro a dezembro de 1999 24
8	Área plantada, produção e valor comercializado de produtos selecionados na fruticultura na área empresarial, no período de janeiro a dezembro de 1999 25

9	Área plantada, produção e valor comercializado de produtos selecionados para o setor de grãos, cereais e olerícolas na área de colonização, no período de janeiro a dezembro de 1999	26
10	Área plantada, produção e valor comercializado de produtos selecionados para o setor de grãos, cereais e olerícolas na área empresarial, no período de janeiro a dezembro de 1999	26
11	Escala de nove pontos para comparação paritária	47
12	Variáveis definidas para os modelos formulados	66
13	Parâmetros definidos para os modelos formulados	67
14	Soluções para duas versões do problema de otimização com dois objetivos, maximização da margem bruta e minimização de risco, para diferentes ponderações, usando o MAH para a gleba C3	79
15	Níveis de risco associado às soluções geradas para a gleba C3 ...	80
16	Soluções para o problema de otimização com dois objetivos, maximização da margem bruta e minimização de danos ambientais, para diferentes ponderações, usando o MAH para a gleba C3	81
17	Níveis de danos ambientais associados às soluções geradas para a gleba C3	82
18	Soluções para o problema de otimização com dois objetivos, maximização da margem bruta e maximização da utilização de mão-de-obra de baixa qualificação, para diferentes ponderações, usando o MAH para a gleba C3	83
19	Níveis de utilização de mão-de-obra associados às soluções geradas para a gleba C3	84
20	Soluções para o problema de otimização com quatro objetivos, para diferentes ponderações, usando o MAH para a gleba C3	85
21	Soluções geradas para o problema de otimização com quatro objetivos, para diferentes ponderações, usando o MAH para a gleba C3	86

22	Soluções para o problema de otimização com dois objetivos, maximização da margem bruta e minimização do risco, para diferentes ponderações, usando o MAH para a gleba B	87
23	Níveis de risco associados às soluções geradas para a gleba B	88
24	Soluções para o problema de otimização com dois objetivos, maximização da margem bruta e minimização de danos ambientais, para diferentes ponderações, usando o MAH para a gleba B	90
25	Níveis de danos ambientais associados às soluções geradas para a gleba B	91
26	Soluções para o problema de otimização com dois objetivos, maximização da margem bruta e maximização da utilização de mão-de-obra de baixa qualificação, para diferentes ponderações, usando o MAH para a gleba B	92
27	Níveis de utilização de mão-de-obra de baixa qualificação associados às soluções geradas para a gleba B	93
28	Soluções para o problema de otimização com quatro objetivos, para diferentes ponderações, usando o MAH para a gleba B	94
29	Soluções geradas para o problema de otimização com quatro objetivos, para diferentes ponderações, usando o MAH para a gleba B	95
30	Soluções para o problema de otimização com dois objetivos, maximização da margem bruta e minimização do risco, para diferentes ponderações, usando o MAH para a gleba F	96
31	Níveis de risco associados às soluções geradas para a gleba F	97
32	Soluções para o problema de otimização com dois objetivos, maximização da margem bruta e minimização dos danos ambientais, para diferentes ponderações, usando o MAH para a gleba F	98
33	Níveis de danos ambientais associados às soluções geradas para a gleba F	99

34	Soluções para o problema de otimização com dois objetivos, maximização da margem bruta e maximização da utilização de mão-de-obra de baixa qualificação, para diferentes ponderações, usando o MAH para a gleba F	100
35	Níveis de utilização de mão-de-obra de baixa qualificação associados às soluções geradas para a gleba F	101
36	Soluções para o problema de otimização com quatro objetivos, para diferentes ponderações, usando o MAH para a gleba F	102
37	Soluções geradas para o problema de otimização com quatro objetivos, para diferentes ponderações, usando o MAH para a gleba F	103
38	Soluções para o problema de otimização com dois objetivos, maximização da margem bruta e minimização do risco, para diferentes ponderações, usando o MAH para a gleba A	104
39	Níveis de risco associados às soluções geradas para a gleba A ...	105
40	Soluções para o problema de otimização com dois objetivos, maximização da margem bruta e minimização dos danos ambientais, para diferentes ponderações, usando o MAH para a gleba A	106
41	Níveis de danos ambientais associados às soluções geradas para a gleba A	107
42	Soluções para o problema de otimização com dois objetivos, maximização da margem bruta e maximização da utilização de mão-de-obra de baixa qualificação, para diferentes ponderações, usando o MAH para a gleba A	108
43	Níveis de utilização de mão-de-obra associados às soluções geradas para a gleba A	110
44	Soluções para o problema de otimização com quatro objetivos para diferentes ponderações, usando o MAH para a gleba A	111
45	Soluções geradas para o problema de otimização com quatro objetivos, para diferentes ponderações, usando o MAH para a gleba A	112

46	Soluções para o problema de otimização com dois objetivos, maximização da margem bruta e minimização do risco, para diferentes ponderações, usando o MAH para a gleba D	113
47	Níveis de risco associados às soluções geradas para a gleba D ...	114
48	Soluções para o problema de otimização com dois objetivos, maximização da margem bruta e minimização do dano ambiental, para diferentes ponderações, usando o MAH para a gleba D	115
49	Níveis de danos ambientais associados às soluções geradas para a gleba D	116
50	Soluções para o problema de otimização com dois objetivos, maximização da margem bruta e maximização da utilização de mão-de-obra de baixa qualificação, para diferentes ponderações, usando o MAH para a gleba D	117
51	Níveis de utilização da mão-de-obra associados às soluções geradas para a gleba D	118
52	Soluções para o problema de otimização com quatro objetivos, para diferentes ponderações, usando o MAH para a gleba D	119
53	Soluções geradas para o problema de otimização com quatro objetivos, para diferentes ponderações, usando o MAH para a gleba D	120
54	Soluções eficientes para o problema de otimização com variações no nível de risco para a gleba D	122
55	Variações no nível de risco para a gleba C3	123
56	Soluções eficientes para o problema de otimização com variações no nível de danos ambientais para a gleba C3	124
57	Variações no nível de danos ambientais para a gleba C3	125
58	Soluções eficientes para o problema de otimização com variações paramétricas no nível de utilização de mão-de-obra de baixa qualificação para a gleba D	127

	Página
59	Variações no nível de utilização de mão-de-obra de baixa qualificação para a gleba C3 128
60	Soluções para o problema de otimização com variações com três objetivos compondo o conjunto de restrições para a gleba C3 129
61	Variações com três objetivos compondo o conjunto de restrições para a gleba C3 130
62	Soluções eficientes para o problema de otimização com variações no nível de risco para a gleba B 131
63	Variações no nível de risco para a gleba B 132
64	Soluções eficientes para o problema de otimização com variações no nível de danos ambientais para a gleba B 133
65	Variações no nível de danos ambientais para a gleba B 134
66	Soluções eficientes para o problema de otimização com variações para o nível de utilização de mão-de-obra de baixa qualificação para a gleba B 136
67	Variações no nível de utilização de mão-de-obra de baixa qualificação para a gleba B 137
68	Soluções para o problema de otimização com variações com três objetivos compondo o conjunto de restrições para a gleba B 138
69	Variações com três objetivos compondo o conjunto de restrições para a gleba B 139
70	Soluções eficientes para o problema de otimização com variações no nível de risco para a gleba F 140
71	Variações no nível de risco para a gleba F 141
72	Soluções eficientes para o problema de otimização com variações no nível de danos ambientais para a gleba F 142
73	Variações no nível de danos ambientais para a gleba F 143

74	Soluções eficientes para o problema de otimização com variações no nível de utilização da mão-de-obra de baixa qualificação para a gleba F	144
75	Variações no nível de utilização de mão-de-obra de baixa qualificação para a gleba F	145
76	Soluções para o problema de otimização com variações com três objetivos compondo o conjunto de restrições para a gleba F	146
77	Variações com três objetivos compondo o conjunto de restrições para a gleba F	147
78	Soluções eficientes para o problema de otimização com variações no nível de risco para a gleba A	148
79	Variações no nível de risco para a gleba A	149
80	Soluções eficientes para o problema de otimização com variações no nível de danos ambientais para a gleba A	150
81	Variações no nível de danos ambientais para a gleba A	151
82	Soluções eficientes para o problema de otimização com variações no nível de utilização de mão-de-obra de baixa qualificação para a gleba A	152
83	Variações no nível de utilização de mão-de-obra de baixa qualificação para a gleba A	153
84	Soluções eficientes para o problema de otimização com variações com três objetivos compondo o conjunto de restrições para a gleba A	154
85	Variações com três objetivos compondo o conjunto de restrições para a gleba A	155
86	Soluções eficientes para o problema de otimização com variações no nível de risco para a gleba D	156
87	Variações no nível de risco para a gleba D	157

	Página
88	Soluções eficientes para o problema de otimização com variações no nível de danos ambientais para a gleba D 159
89	Variações no nível de danos ambientais para a gleba D 160
90	Soluções eficientes para o problema de otimização com variações no nível de utilização de mão-de-obra de baixa qualificação para a gleba D 161
91	Variações no nível de utilização de mão-de-obra de baixa qualificação para a gleba D 162
92	Soluções eficientes para o problema de otimização com variações com três objetivos compondo o conjunto de restrições para a gleba D 163
93	Variações com três objetivos compondo o conjunto de restrições para a gleba D 164
94	Comparação entre as margens brutas apresentadas pelo Projeto de Irrigação do Jaíba e as geradas pelo estudo 164
1A	Soluções para duas versões do problema de otimização com dois objetivos, maximização da margem bruta e minimização do risco, para diferentes ponderações, com restrição de 40% sobre a produção de cada produto em todas as unidades produtivas, usando o MAH para a gleba C3 183
2A	Níveis de risco associados às soluções geradas para a gleba C3 .. 184
3A	Soluções para duas versões do problema de otimização com dois objetivos, maximização da margem bruta e minimização de danos ambientais, para diferentes ponderações, com restrição de 40% sobre a produção de cada produto em todas as unidades produtivas, usando o MAH para a gleba C3 185
4A	Níveis de danos ambientais associados às soluções geradas para a gleba C3 186

5A	Soluções para duas versões do problema de otimização com dois objetivos, maximização da margem bruta e maximização na utilização de mão-de-obra de baixa qualificação, para diferentes ponderações, com restrição de 40% sobre a produção de cada produto em todas as unidades produtivas, usando o MAH para a gleba C3	187
6A	Níveis de utilização de mão-de-obra de baixa qualificação associados às soluções geradas para a gleba C3	188
7A	Soluções para duas versões do problema de otimização com quatro objetivos, para diferentes ponderações, com restrição de 40% sobre a produção de cada produto em todas as unidades produtivas, usando o MAH para a gleba C3	189
8A	Soluções geradas para o problema de otimização com quatro objetivos, para diferentes ponderações, com restrição de 40% sobre a produção de cada produto em todas as unidades produtivas, usando o MAH para a gleba C3	190
1B	Distribuição da produção por lote para a gleba C3, referente à solução S1, para o problema de otimização com quatro objetivos para diferentes ponderações, usando o MAH e o Método de Ponderação	191
2B	Distribuição da produção por lote para a gleba C3, referente à solução S1, para o problema de otimização com variações paramétricas, com três objetivos compondo o conjunto de restrições, usando o MAH e o Método de Geração de Soluções Eficientes ..	194
1C	Distribuição do valor do custo reduzido para as culturas na gleba C3, referente à solução S1, para o problema de otimização com quatro objetivos, para diferentes ponderações, usando o MAH e o Método de Ponderação	197
2C	Distribuição do preço-sombra para as culturas na gleba C3, referente à solução S1, para o problema de otimização com variações paramétricas, com três objetivos compondo o conjunto de restrições, usando o MAH e o Método de Geração de Soluções Eficientes	198

LISTA DE FIGURAS

		Página
1	Distribuição da área irrigável cultivada, em ha, entre os pequenos irrigantes e o setor empresarial em 1999	17
2	Culturas exploradas, em ha, pelos pequenos irrigantes no ano de 1999	18
3	Culturas exploradas, em ha, pelos empresários no ano de 1999 ..	19
4	Exploração da fruticultura, em ha, pelos pequenos irrigantes no ano de 1999	20
5	Exploração da fruticultura, em ha, pelos empresários no ano de 1999	20
6	Importância da informação na tomada de decisão	33
7	Curva de maximização dos objetivos 1 e 2	36
8	Curva de MAX do objetivo 1 e MIN do objetivo 2	36
9	Formato-padrão de um modelo hierárquico de Z níveis no MAH	48
10	Árvore de decisão	50
11	Representação de um indivíduo avesso ao risco	53

		Página
12	Representação de um indivíduo indiferente ao risco	54
13	Representação de um indivíduo propenso ao risco	55
14	Descrição geral das hierarquias utilizadas	71
15	Estrutura hierárquica e pesos resultantes para as áreas de colonização do Projeto de Irrigação do Jaíba	76

RESUMO

SILVA, Jersone Tasso Moreira, D.S., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2001. **Tomada de decisão sob critérios múltiplos: uma aplicação ao Projeto de Irrigação do Jaíba.** Orientador: Heleno do Nascimento Santos. Conselheiros: Carlos Antônio Moreira Leite e Carlos Arthur Barbosa da Silva.

O setor agrícola que utiliza sistemas de irrigação, particularmente em países em desenvolvimento, tem geralmente apresentado desempenho abaixo do seu potencial. O Projeto de Irrigação do Jaíba apresenta problemas semelhantes, uma vez que os pequenos produtores rurais não utilizam de forma eficiente as potencialidades dos recursos naturais existentes. O presente estudo teve como objetivo geral aplicar métodos de programação sob múltiplos critérios como uma ferramenta que auxilie o pequeno produtor rural do Projeto de Irrigação do Jaíba na atividade de planejar a estratégia de produção mais econômica para um dado período de tempo, considerando as informações disponíveis interna e externamente à propriedade rural. Nesse sentido, utilizaram-se dois métodos para o planejamento aqui proposto, sendo o primeiro o Método de Ponderação e o segundo o Método de Geração de Soluções Eficientes. Esses métodos foram aplicados nas cinco áreas de colonização, enfocando a maximização da margem bruta, a minimização do risco, a minimização dos danos ambientais e a

maximização do uso de mão-de-obra de baixa qualificação para nove culturas selecionadas: banana, melancia, mamão, uva, melão, abóbora, milho, cebola e pimentão. Os resultados foram obtidos, em um primeiro momento, utilizando o Método de Análise Hierárquica (MAH), o qual gerou pesos, indicando que para o objetivo risco o cultivo da uva foi o que apresentou o nível de risco mais elevado entre as nove culturas analisadas, seguido de banana e melão. O segundo objetivo, de acordo com a estrutura hierárquica, indica que a cebola é a cultura mais importante em termos de margem bruta, seguida de melão e pimentão. O terceiro objetivo indica que a cultura que mais contribui para absorção de mão-de-obra de baixa qualificação é a cebola, seguida de banana, pimentão e uva. O último objetivo analisado apresenta valores para danos ambientais muito próximos entre as culturas de banana, uva, melancia e mamão. Os dois métodos aqui utilizados indicam que as soluções geradas para todas as situações simuladas recomendaram que fossem produzidas nas glebas C3, B, D e F as seguintes culturas: cebola, melão, pimentão e abóbora, e para a gleba A recomendou-se a produção de cebola, melão, pimentão e melancia. Entretanto, observou-se que para o cultivo da banana as soluções não foram favoráveis. A recomendação final do presente estudo seria a criação da empresa cooperativa, em que os associados são os usuários e também os empresários, exercendo as atividades econômicas, assumindo riscos e repartindo entre si os ganhos ou as perdas.

ABSTRACT

SILVA, Jersone Tasso Moreira, D.S., Universidade Federal de Viçosa, July 2001. **Multiple criteria decision making: an application to the Jaíba Irrigation Project.** Adviser: Heleno do Nascimento Santos. Committee Members: Carlos Antônio Moreira Leite and Carlos Arthur Barbosa da Silva.

The agricultural section that uses irrigation systems, particularly, in developing countries, it has usually been presenting performances below its potential. The Jaíba Irrigation Project presents similar problems in the sense that the small rural producers don't use in an efficient way the potentialities of the existent natural resources. The present study had the purpose to point out that in, real situations, the rural producer, in the moment of making his decisions should distribute his resources looking after multiple objectives, that can be associated to different criteria and to factors out of his control. Therefore, as a general objective, this study applies methods of Programming under Multiple Criteria as a tool that aids the small rural producer of the Jaíba Irrigation Project, in activities of planning the strategy of more economical production for a given period of time, considering the internal and external available information to the rural property. In that sense it was used two methods for the proposed planning, being the first the Weighted Method and the second the Method of Generation of

Efficient Solutions. Those methods were applied for the five colonization areas, focusing the maximização of the profit margin, the minimization of risk, the minimização of the environmental damages and the maximization of the use of low qualification labor for nine selected cultures, in other words, banana, watermelon, papaya, grape, melon, pumpkin, corn, onion and bell pepper. The results were obtained, in a first moment, using the Method of Hierarchical Analysis (MHA) which generated weights indicating that for the objective risk, the cultivation of the grape was what it presented the level of higher risk among the nine analyzed cultures, followed by the banana and of the melon. The second objective, as indicated by the hierarchical structure, indicates that the onion is the most important culture in terms of profit, followed by the melon and bell pepper. The third objective indicates that the culture that most contributes to absorption of low labor qualification is the onion, followed by the banana, bell pepper and grape. The last analyzed objective presents for the cultures of banana, grape, watermelon and papaya a very close environmental damage values. The two methods used here indicated that the generated solutions for all the simulate situations had recommended that they were produced in the areas C3, B, D and F the following cultures: onion, melon, bell pepper and pumpkin and for area A it was recommended the production of onion, melon, bell pepper and watermelon. However, it was observed that for the banana's cultivation the solutions were not favorable. The final recommendation would be the creation of a cooperative company, where the associates are the users and also the entrepreneurs exercising the economical activities, assuming risks and distributing to each other, the earnings or the losses.

1. INTRODUÇÃO

A conjuntura econômica internacional, caracterizada pela globalização do comércio internacional e pelo decréscimo gradativo dos subsídios e das barreiras não-tarifárias, tem levado os países a intensificarem políticas que possibilitem o aumento da eficiência econômica, visando obter ganho de competitividade no mercado internacional.

No Brasil, a globalização tem seus reflexos mais marcantes na economia rural, acelerando, em anos recentes, uma transformação no arranjo espacial, que vinha se dando de forma mais moderada nas últimas duas décadas (BARROS, 1998).

De acordo com BARROS (1998), os negócios agropecuários vêm experimentando mudanças de extrema importância à medida que vão sendo ocupadas áreas de fronteira, como o Norte e o Centro-Oeste, além de vastas áreas do Nordeste, em geral, por meio de atividades que incorporem moderna tecnologia de produção, como, por exemplo, os projetos de irrigação. Paralelamente, atividades de apoio, como fornecimento de insumos, armazenamento e indústrias de processamento, estão se aglomerando ao redor das zonas de produção, atendendo ao princípio da racionalidade econômica, ou seja, o empresário rural tem procurado otimizar, por meio de um planejamento rigoroso, os arranjos das atividades no tocante a custos de produção,

processamento, armazenamento, lucro, impactos ambientais, transportes, entre outros.

O processo de globalização pelo qual vem passando o País, simultaneamente à estabilização econômica, tem não apenas transformado o arranjo espacial, mas também provocado grandes pressões de preços nas duas pontas, ou seja, pelo lado da receita ocorreu pressão baixista em razão das fortes influências dos preços internacionais como balizadores dos preços máximos internos e, pelo lado dos custos, o aumento dos salários e dos preços dos serviços em geral.

Segundo JANK (1997), as empresas rurais do Brasil foram e estão sendo obrigadas a se ajustarem da mesma forma como acontece nos setores urbanos; em outras palavras, as empresas estão buscando a produtividade máxima dos recursos, associada com mecanismos modernos de gestão.

A necessidade de formular novas posturas gerenciais na busca da modernização dos sistemas produtivos é a preocupação básica do empreendedor rural para preservar a rentabilidade do negócio.

TAUBE NETTO (1997) e JANK (1997) mostram que, para se preservar essa rentabilidade, é necessário que haja não apenas o gerenciamento e o planejamento adequado do processo produtivo, mas também a harmonia entre as Tecnologias de Informação e o conjunto de mecanismos modernos de gestão.

De acordo com FATURETO (1997), o planejamento, se bem elaborado, pode se tornar uma atividade que propicia bons resultados em qualquer atividade econômica, isto é, por meio da elaboração bem formalizada de um conjunto de objetivos que se pretende atingir e das técnicas e dos recursos disponíveis, é possível prever, com maior exatidão, os resultados de qualquer estratégia adotada, bem como detectar e corrigir possíveis falhas durante sua execução.

Historicamente, o planejamento na agricultura vinha sendo obtido por meio de julgamentos baseados na experiência e intuição profissional, mas, em razão da elevada especialização e dos avanços tecnológicos dos sistemas de produção, foi estimulada uma crescente demanda para o desenvolvimento formal

de técnicas de planejamento baseadas na construção e análise de modelos matemáticos.

Segundo COCHRANE e ZELENY (1973), a formalização das técnicas de tomada de decisão deve levar em consideração o uso de computadores e a análise matemática associada a julgamentos humanos, intuição e experiência. A prática da tomada de decisão está ligada à avaliação das alternativas, todas satisfazendo um conjunto de objetivos pretendidos. No entanto, o problema está em escolher a alternativa que melhor satisfaça o conjunto total de objetivos.

GLEN (1987) mostra que analistas têm desenvolvido grande número de modelos matemáticos direcionados para sistemas agrícolas, onde, uma vez encontrada uma solução, esta poderá ser implementada e sua performance monitorada e controlada.

Assim, a construção de modelos matemáticos como ferramentas de pesquisa e promotora de eficiência decisória pode ser um passo importante para atingir, com maior exatidão, os resultados de qualquer estratégia adotada, bem como prever e controlar possíveis falhas durante sua execução.

1.1. O problema e sua importância

A utilização de técnicas de otimização fundamentadas em processos que envolvem múltiplos objetivos vem crescendo de forma significativa em diversas áreas, especialmente no que se refere a problemas de tomada de decisão no setor agrícola.

A necessidade de uma formulação matemática que envolva a Tomada de Decisão com Múltiplos Critérios é apresentada por PETRINI (1969), após entrevistar 54 agricultores suecos. Observou-se, na pesquisa, a existência de uma hierarquia de objetivos que variavam de agricultor para agricultor, ou seja, havia a necessidade de interação entre o conjunto de objetivos que os agricultores pretendiam alcançar e que eram ao mesmo tempo conflitantes.

Nesse caso, os problemas que apresentam características de múltiplos critérios devem ser resolvidos por técnicas de Programação Matemática com

Múltiplos Critérios, como, por exemplo, o Método de Programação de Metas, o Método de Programação com Objetivos Múltiplos, o Método de Programação de Compromissos e a Tomada de Decisão Interativa com Objetivos Múltiplos, em vez da convencional Programação Linear (EL-SHISHINY, 1988).

A Programação Linear utiliza um modelo matemático para descrever o problema que consiste na otimização de uma dada função linear, denominada função-objetivo, como, por exemplo, maximizar a renda da atividade agrícola, sujeita a um conjunto de restrições também lineares, isto é, restrições de disponibilidade de terra, capital e mão-de-obra. Contudo, deve-se reconhecer que esta metodologia apresenta algumas limitações, como as pressuposições de que o relacionamento entre as variáveis consideradas é linear, de que as restrições devem ser estritamente respeitadas e de que as escolhas são feitas a partir de um único critério ou um único objetivo.

O Método de Programação Matemática sob Múltiplos Critérios consiste na otimização de várias funções-objetivo, como, por exemplo, maximizar margem bruta e nível de emprego e minimizar risco econômico, sujeito a um conjunto de restrições também lineares, como disponibilidade de terra, horas de trator por período e disponibilidade de água.

No entanto, a ênfase em diferentes objetivos poderá afetar a escolha da técnica, o caminho para o desenvolvimento e as prioridades da pesquisa. Deve-se considerar, para um planejamento consistente, todos os objetivos impostos sobre a área estudada. De acordo com FATURETO (1997), diferentes caminhos de desenvolvimento que satisfaçam objetivos diferentes são viáveis e os *trade-offs* entre objetivos múltiplos determinam o grau de acomodação possível entre diferentes grupos de interesse.

O Método de Otimização sob Critérios Múltiplos tem se apresentado eficiente em processos de tomada de decisão em programas de irrigação localizados em regiões semi-áridas e áridas, sendo alguns trabalhos destacados a seguir.

CANDLER e NORTON (1977) aplicaram a estrutura de Programação Matemática sob Múltiplos Critérios a problemas de planejamento para

determinar os níveis apropriados de atividades selecionadas em uma área de irrigação de 250.000 hectares. O trabalho apresentou um novo algoritmo, o qual possibilitou o tratamento simultâneo de ambos os problemas, ou seja, modificou-se o algoritmo *simplex*, permitindo assim o tratamento simultâneo de duas funções-objetivo distintas. O modelo de otimização foi aplicado no Distrito de Irrigação do Rio Yaqui, no Estado de Sonora, México, sendo os produtos estudados o trigo, o algodão, a soja, a pimenta e o feijão. As metas principais selecionadas foram: minimização dos riscos financeiros sazonais, maximização da margem bruta e maximização da utilização de mão-de-obra. Os autores concluíram que o uso da Programação Linear com Objetivos Múltiplos permite, com sucesso, incorporar as seguintes considerações: (1) dar pesos às políticas de planejamento a serem escolhidas; (2) avaliar os instrumentos de políticas, assim como as próprias políticas; e (3) avaliar o comportamento das funções-objetivo.

WIT et al. (1980) utilizaram uma técnica de Programação Linear Interativa com objetivos múltiplos para investigar possibilidades de desenvolvimento para a zona semi-árida na região mediterrânea de Israel. A metodologia aplicada se baseou em uma abordagem de Programação Linear multiperiódica que otimiza um grupo de processos produtivos em um período de desenvolvimento, sujeito a um conjunto de restrições. Segundo os autores, o trabalho contribuiu para o planejamento no uso de fertilizantes importados, consumo da população local, nível de emprego, conservação da diversidade ambiental natural e manutenção dos sistemas tradicionais de cultivo e criação animal. Os mesmos autores concluíram que o método pode auxiliar na decisão sobre possíveis caminhos de desenvolvimento, dentro de ampla variedade de cenários técnicos de desenvolvimento.

BAZARAA e BOUZAHER (1981) desenvolveram um modelo para auxiliar na determinação da alocação de culturas e no gerenciamento da criação de animais em um conjunto de regiões que compartilham um conjunto de objetivos. O estudo formulou um modelo de Programação Linear com várias metas, para várias regiões agrícolas do Egito. O modelo considera k regiões com demandas conhecidas por certos produtos agrícolas e características econômicas

dadas, procurando assim determinar o nível apropriado de atividades nas k regiões, em um período de tempo. A metodologia mostra que isto deverá ser feito de forma que os recursos disponíveis não sejam excedidos e que a soma ponderada dos desvios das metas predeterminadas seja minimizada. As conclusões obtidas sugeriram que o modelo pode ser usado no processo de planejamento de um setor agrícola de um país em desenvolvimento. Segundo os autores, em uma economia de mercado, a técnica pode ser utilizada pelos produtores para minimizar riscos no momento em que eles resolvem modificar seus padrões de produção.

O planejamento com métodos de otimização sob critérios múltiplos foi utilizado por ROMERO et al. (1987) para um programa de reforma agrária em Andaluzia, Espanha, no qual se pretendia implementar medidas que garantissem a interação, em uma área na qual a produção seria obtida por meio de terras irrigadas, entre os seguintes objetivos: maximização do nível de emprego, maximização da margem bruta, maximização da produção de forragens, minimização da sazonalidade do emprego e minimização da utilização de horas-trator. A abordagem de múltiplos critérios foi a adotada para satisfazer os objetivos conflitantes apresentados, isto é, a obtenção de um alto nível de produção de forragem era apenas obtida por meio do uso intensivo de maquinários; a redução do emprego sazonal talvez não induza à sustentabilidade de elevados níveis de emprego.

EL-SHISHINY (1988) aplicou um modelo de Programação Linear com Objetivos Múltiplos em larga escala, considerando-se um único período de tempo (um ano) para planejamento e alocação de terras. De acordo com um específico conjunto de metas e um conjunto de restrições, procurou-se determinar a alocação ótima de terra para o desenvolvimento agrícola integrado da região, incluindo produção agrícola e produção animal e possível instalação de agroindústria. Os objetivos selecionados foram: desenvolvimento de recursos, absorção da população e viabilidade econômica, para o desenvolvimento de atividades econômicas produtivas que resultem na produção de bens e serviços. Os autores concluíram que o modelo proposto é uma ferramenta muito valiosa no

sentido de auxiliar o tomador de decisão (pequenos proprietários) na avaliação de planos alternativos para o desenvolvimento integrado da área estudada.

MAINO et al. (1993) utilizaram um modelo de Programação Linear com Objetivos Múltiplos (PLOM) na VIII Região do Chile. O PLOM foi escolhido devido ao fato de o conjunto de soluções eficientes mostrar os níveis de alcance para cada objetivo e, também, proporcionar informações para calcular as curvas de *trade-off* entre eles. Além disso, a PLOM tem a vantagem de não requisitar nenhuma informação de preferência do tomador de decisão na construção do modelo. A pesquisa tinha como o objetivo projetar e validar opções tecnológicas que permitissem variados tipos de sistemas para superar suas principais limitações, além de testar e validar novas metodologias alternativas para fortalecer suas atividades básicas. A fim de gerar o conjunto de soluções eficientes, foi utilizado o *software* MLP (*Computing & Systems Consultants BV, 1987*). Este *software* gera somente os pontos eficientes extremos e pode processar problemas de tamanho médio, com 50 variáveis de decisão e 50 restrições, tendo no máximo oito objetivos. O trabalho conduzido demonstrou a vantajosa aplicabilidade do PLOM, além de realçar sua aplicação às relações dinâmicas que existem entre tecnologias, atividades produtivas, restrições e objetivos de fazendeiros.

SISKOS et al. (1994) aplicaram a Programação Linear com Objetivos Múltiplos, tendo como estudo de caso o setor agrícola da Tunísia. Utilizou-se um *software* de Programação Linear com Objetivos Múltiplos chamado ADELAIS, com o intuito de investigar conflitos e compromissos entre objetivos específicos de desenvolvimento e projetar avaliações alternativas de modelos eficientes para planejamento agrícola da Agro-Combinat Touila de Sidi Bouzid. Este estudo utilizou, também, os princípios da tomada de decisão interativa. Os objetivos considerados envolveram maximização de margem bruta, nível de emprego, mão-de-obra sazonal, utilização de tratores e produção de forragens. Os autores concluíram que o uso de uma Programação Linear com Objetivos Múltiplos propiciou melhor entendimento de problemas referentes ao planejamento de

operações agrícolas. O estudo proporcionou, ainda, um eficiente modo de reproduzir a realidade da fazenda e as suas respostas a diferentes estímulos.

FATURETO (1997) empregou a Programação de Metas para o tratamento dos modelos montados a partir de uma abordagem de critérios múltiplos. A autora apresentou um estudo sobre as metodologias de otimização sob critérios múltiplos como uma alternativa viável de enfocar problemas de tomada de decisão para a produção agrícola brasileira. Ela procurou estabelecer relações de compromisso e, ou, conflito entre os diversos objetivos a serem alcançados. Além disso, pretendeu-se identificar, dentro da conjuntura agrícola brasileira, algumas regiões específicas onde o Método de Análise Hierárquica pudesse ser aplicado. A finalidade do uso de tal método é estabelecer políticas agrícolas voltadas para a questão da localização e distribuição da produção de alguns produtos selecionados. Observa-se, pela conclusão do trabalho, que a implementação de objetivos múltiplos em problemas de decisão permite ampliação no escopo da formulação de problemas, incorporando a visão sistêmica e operacional do Tomador de Decisão.

Os problemas apresentados, pelos trabalhos anteriormente discutidos, apresentam características semelhantes aos projetos de irrigação das regiões de clima semi-árido e árido do Brasil, como, por exemplo, o Projeto de Irrigação do Jaíba. Essas regiões são caracterizadas por escassez de chuvas e elevada evaporação da água, sendo a irrigação a prática necessária para que haja produção.

A irrigação, além de garantir a minimização dos riscos de perdas em virtude da ocorrência de estiagem, auxilia na introdução de culturas que requerem maior nível de tecnologia, possibilitando opções por cultivos com maiores retornos econômicos.

O Projeto de Irrigação do Jaíba apresenta problemas semelhantes aos trabalhos apresentados anteriormente, no sentido de que pequenos produtores rurais não utilizam, de forma eficiente, as potencialidades dos recursos naturais existentes. Relatórios técnicos fornecidos pela Companhia de Desenvolvimento do Vale do Francisco (CODEVASF) do Projeto de Irrigação do Jaíba de 1998 e

1999 têm indicado que os pequenos irrigantes, distribuídos em áreas de 5 hectares, não conseguem alcançar: a margem bruta ideal para o processo produtivo; o nível ótimo de emprego por área irrigada; utilização de horas de máquinas e implementos agrícolas de forma eficiente; um nível de risco aceitável para financiamento da área a ser explorada; o uso racional da água e energia; e um nível de produção ótimo, sem que com isso incrementasse os danos ao meio ambiente.

Nesse sentido, o Método de Programação Linear com Objetivos Múltiplos (MPLOM) aplicado ao Projeto de Irrigação do Jaíba procura solucionar os paradigmas citados, envolvendo a otimização simultânea de objetivos conflitantes, sujeito a um conjunto de restrições. Desde que uma solução ótima para dois ou mais objetivos simultâneos não possa ser definida, o método de PLOM procura, então, encontrar um conjunto de soluções eficientes. Os elementos do conjunto eficiente são soluções viáveis, nas quais se pode atingir o mesmo ou melhor desempenho para todos os objetivos e estritamente melhor para pelo menos um objetivo.

O presente estudo aplicará o PLOM em áreas que, segundo a COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO DO VALE DO SÃO FRANCISCO - CODEVASF (1999), se caracterizam como críticas, na qual os pequenos irrigantes apresentam a maior dificuldade quanto ao planejamento e ao processo de tomada de decisão da produção. A seção seguinte caracterizará o Projeto de Irrigação do Jaíba quanto à localização, à produção e às glebas para estudo.

1.1.1. O Noroeste Mineiro

A Microrregião Sanfranciscana de Januária, situada no extremo norte de Minas Gerais, é constituída por cinco municípios - Itacarambi, Januária, Manga, Montalvânia e São Francisco -, sendo seu principal ponto de referência o Rio São Francisco.

A maior parte dos solos da microrregião é formada por areias quartzosas, recebendo a classificação de aptidão restrita para agricultura. As áreas mais

férteis, não apenas nessa microrregião, mas em toda Região Noroeste do Estado, localizam-se nas margens do Rio Paracatu e do Rio São Francisco, de Pirapora até a divisa com a Bahia, com largura média de, aproximadamente, 10 km. Essas terras são classificadas como de aptidão regular para práticas agrícolas, para qualquer nível de tecnologia utilizado (BANCO DE DESENVOLVIMENTO DE MINAS GERAIS - BDMG, 1989).

A região do semi-árido mineiro, principalmente a oeste do Rio São Francisco, é caracterizada por apresentar a ocorrência irregular de chuvas, ou seja, precipitação média anual de menos de 1.000 mm e temperaturas superiores a 24°C, na região de Januária e Manga.

A vegetação natural típica da Região Noroeste Mineira é o cerrado e o campo cerrado, que ocupa as partes oeste e sudoeste do Rio São Francisco e Verde Grande, estendendo-se por quase toda Região Noroeste do Estado.

De acordo com dados da Secretaria de Estado de Planejamento e Coordenação Geral (SEPLAN) de 1990, a população estimada em 1989, nos municípios da Microrregião Sanfranciscana de Januária, era de 227.417 habitantes, sendo Itacarambi - 21.843, Januária - 83.358, Manga - 44.113, Montalvânia - 11.445 e São Francisco - 66.658; do total da população da microrregião, 43% vive na área urbana e 57% na área rural.

Em razão da situação descrita, na Microrregião Sanfranciscana de Januária, à semelhança da extensão do Vale do São Francisco, comunidades rurais revelam como características o analfabetismo, o sincretismo religioso, o conservadorismo, o isolamento e a unidade familiar em que o sistema de parentesco é o eixo da sustentação da rede de relações, com estrutura mais ou menos fechada e hierarquizada.

As rodovias que ligam a Região Noroeste aos grandes centros consumidores são:

- A BR 135, que liga Januária a Belo Horizonte, passando por Montes Claros.
- A BR 040, que liga Belo Horizonte a Brasília, passando por Unaí, Paracatu e João Pinheiro.
- A BR 122, que conecta Montes Claros, Janaúba e Espinosa.

- A BR 3556, que liga Montes Claros ao Triângulo Mineiro.
- A rodovia estadual MG 401, que corta a área do Projeto, estando pavimentada até o povoado de Jaíba, distante 70 km do Distrito de Irrigação do Jaíba (DIJ).

O transporte ferroviário é outra forma de escoamento da produção, já que a região é cortada pela estrada de ferro EF 116, linha que tem início em Belo Horizonte e passa pelos municípios de Bocaiúva, Montes Claros, Capitão Enéas, Janaúba, Porteirinha, Monte Azul e Espinosa, de onde faz conexão com a região Nordeste do País.

Por fim, uma característica do Noroeste Mineiro é a possibilidade do transporte fluvial, pois o Rio São Francisco é totalmente navegável entre as cidades de Pirapora-MG e Juazeiro-BA, estando nas proximidades do Distrito de Irrigação do Jaíba (DIJ) os portos de Januária, Itacarambi, Matias Cardoso e Manga, sendo pouco explorados economicamente.

1.1.1.1. O Projeto de Irrigação do Jaíba

A ocupação do Noroeste Mineiro vem desde a década de 50, quando se podiam verificar iniciativas governamentais no sentido de colonizar uma área de aproximadamente 300.000 ha, denominada Mata do Jaíba, através de esforços do Instituto Nacional de Irrigação e Colonização.

O Projeto de Irrigação do Jaíba, situado no extremo norte de Minas Gerais, abrange os municípios de Jaíba (que até 1991 pertencia ao município de Manga) e Matias Cardoso, entre as margens do Rio São Francisco e à esquerda do Rio Verde Grande, e tinha como objetivo a colonização da região, transformando-a em um pólo agroindustrial para, com isso, elevar a renda dos agricultores e melhorar o nível de vida do produtor rural.

A partir de 1973, os governos federal e estadual passaram a atuar em conjunto na área do projeto, redefinindo-o como um Distrito Agroindustrial, sendo 100.000 hectares de área irrigada e 230.000 ha de área não-irrigada. O período compreendido entre 1960 e início da década de 70 foi marcado por estudos de potencialidades da região, assim como de assinatura de diversos

convênios para o início da implantação do Projeto de Irrigação de Mocambinho e melhorias de infra-estrutura e expansão do povoado do Rio Verde (CONSÓRCIO ECOPLAN MAGNA COBA, 1987).

Em 1975, um convênio firmado entre CODEVASF e RURALMINAS viria oficializar e definir as atribuições dos governos federal e do Estado de Minas Gerais na área do projeto, cabendo ao primeiro a responsabilidade pela implantação, operação e manutenção das obras de infra-estrutura do sistema de irrigação e, ao segundo, a regularização dos aspectos fundiários e implantação dos dispositivos básicos de colonização, como construção de estradas, rede de energia elétrica, obras de infra-estrutura, assentamento de colonos e apoio técnico.

O período compreendido entre 1975 e 1987 foi conturbado do ponto de vista da implantação do Projeto, ocorrendo desde a perda de apoio político até problemas técnicos, financeiros e administrativos. Contudo, a partir de 1985, com o lançamento do Programa Nacional de Irrigação do Nordeste, o projeto passou a ter conotação social.

A partir de estudos técnicos, concluiu-se que, para um projeto com as características e peculiaridades como as do Jaíba, o modelo de ocupação recomendado seria o de um Distrito de Irrigação.

A proposta do Modelo de Distrito de Irrigação foi aprovada, sendo instituído o Distrito de Irrigação de Jaíba em 1987, o primeiro desse tipo no Brasil. O Distrito de Irrigação de Jaíba é uma instituição de direito privado, de caráter coletivo, instituída juridicamente nos moldes de Associação Civil, sem fins lucrativos, com personalidade jurídica e patrimônio próprio, com atuação numa área delimitada, em terras onde o governo implantou um projeto de agricultura irrigada, com administração, operação e manutenção realizadas por um órgão representante dos próprios beneficiários.

O Projeto de Irrigação do Jaíba, como mencionado anteriormente, tem capacidade planejada para irrigar 100.000 ha, os quais foram divididos em quatro etapas, segundo a necessidade de se elevar o nível das águas. O Quadro 1 ilustra a divisão das etapas.

Quadro 1 - Etapas de implantação do Projeto Jaíba, MG

Etapas	Glebas	Área (ha)
Etapa 1	A, B, C ₁ , C ₂ , C ₃ , C ₄ , D, E e F	32.754
Etapa 2	G, H, I, J e L	29.982
Etapa 3	Toca do Onça e Nova Cachoeirinha	16.000
Etapa 4	Sociedade Civil Rio Verde e outras	21.264
Total		100.000

Fonte: MORAES JR. (1997).

A implantação da etapa 1 do projeto seguiu um ritmo inconstante, com várias interrupções por motivos técnicos, políticos e financeiros, ficando paralisada durante alguns anos, no início da década de 80. A execução do projeto apenas foi reiniciada quando o Programa Cooperativo FAO/Banco Mundial selecionou o Projeto Jaíba como prioritário para financiamento. A fase de implementação foi reiniciada e deu-se prioridade à conclusão das obras do Projeto Jaíba (etapa 1). Em decorrência do acordo com o Banco Mundial, os objetivos do projeto tiveram de ser modificados, dando-se mais ênfase à agricultura familiar e aos pequenos e médios empresários.

Segundo o relatório fornecido pela CODEVASF (1999), as obras civis da etapa 1 estão concluídas e os 1.453 irrigantes estão distribuídos em 1.308 pequenos irrigantes e 145 médios empresários.

Nas áreas de colonização F, C₃, B e A, com esta última encontrando-se em fase final de implantação, deverão ser assentadas 846 famílias. Atualmente, 339 famílias estão assentadas nessas áreas. O planejamento é de que até o final do ano 2000 seja concluído o assentamento das famílias restantes. A parcela A₄ está em fase de desmatamento e implantação dos lotes. Essa parcela, depois de concluída, permitirá o assentamento de 256 famílias de pequenos irrigantes.

Mais especificamente, as áreas de colonização do Projeto de Irrigação do Jaíba apresentam a seguinte distribuição de lotes, conforme pode ser visto pelos Quadros 2, 3, 4 e 5.

O Quadro 2 mostra que a gleba A possui área total irrigável de 4.301,23 ha e 846 lotes úteis para serem utilizados nas atividades agrícolas. Em termos de área reservada, tem-se um total de 369,57 ha. Essa gleba é a que apresenta o maior número de lotes, se comparada com as outras glebas de colonização.

Quadro 2 - Distribuição dos lotes para a gleba A da etapa 1 do Projeto de Irrigação do Jaíba

Setores	Total de lotes	Lotes úteis	Irrigável (ha)	Sequeiro (ha)	Total (ha)	Reservas	
						Lotes	ha
A1	208	195	990,52	102,55	1.093,07	13	74,79
A2	206	177	896,96	92,52	989,48	29	175,28
A3	232	218	1.108,23	114,19	1.222,42	14	80,30
A4	263	256	1.305,52	133,62	1.439,14	7	-
Reserva florestal	-	-	-	-	383,40	-	-
Faixa de domínio e NH	-	-	-	-	541,13	-	-
Lotes reservados	-	-	-	-	369,57	-	-
Total	909	846	4.301,23	442,88	6.038,21	63	369,57

Fonte: CODEVASF (1999).

O Quadro 3 apresenta a distribuição de lotes para a gleba B, sendo esta caracterizada como a segunda em número de lotes.

O Quadro 4 apresenta a distribuição de lotes para a gleba F, a qual apresenta o terceiro lugar em número de lotes, se comparada com as outras glebas de colonização do Projeto de Irrigação do Jaíba.

Quadro 3 - Distribuição dos lotes para a gleba B da etapa 1 do Projeto de Irrigação do Jaíba

Setores	Total de lotes	Lotes úteis	Irrigável (ha)	Sequeiro (ha)	Total (ha)	Reservas	
						Lotes	ha
B1	141	131	672,55	70,46	743,01	10	56,43
B2	120	118	611,28	67,04	678,32	2	13,12
B3	162	150	767,87	90,87	858,75	12	72,16
Reserva florestal	-	-	-	-	283,81	-	-
Faixa de domínio e NH	-	-	-	-	123,67	-	-
Lotes reservados	-	-	-	-	141,71	-	-
Total	423	399	2.051,70	228,37	2.829,28	24	141,71

Fonte: CODEVASF (1999).

Quadro 4 - Distribuição dos lotes para a gleba F da etapa 1 do Projeto de Irrigação do Jaíba

Setores	Total de lotes	Lotes úteis	Irrigável (ha)	Sequeiro (ha)	Total (ha)	Reservas	
						Lotes	ha
F1	341	326	1.711,52	228,20	1.939,72	14	79,80
Faixa de domínio e NH	-	-	-	-	316,64	-	-
Lotes reservados	-	-	-	-	79,80	-	-
Total	341	326	1.711,52	228,20	2.336,16	14	79,80

Fonte: CODEVASF (1999).

Finalmente, o Quadro 5 apresenta a distribuição de lotes para a gleba C3, sendo esta considerada a menor das glebas de colonização em número de lotes¹.

Quadro 5 - Distribuição dos lotes para a gleba C3 da etapa 1 do Projeto de Irrigação do Jaíba

Setores	Total de lotes	Lotes úteis	Irrigável (ha)	Sequeiro (ha)	Total (ha)	Reservas	
						Lotes	ha
C3	60	57	303,00	52,50	355,50	3	34,50
Faixa de domínio e NH	-	-	-	-	313,50	-	-
Lotes reservados	-	-	-	-	34,50	-	-
Total	60	57	303,00	52,50	693,00	3	34,50

Fonte: CODEVASF (1999).

As áreas empresariais C₁, C₄ e E, da etapa 1, estão cedidas para duas empresas: Solagro e Brasnica. A gleba C₂ apresenta parcela empresarial com um total de 8.043 ha irrigáveis, dos quais 5.763,80 ha já foram alienados mediante concorrência pública.

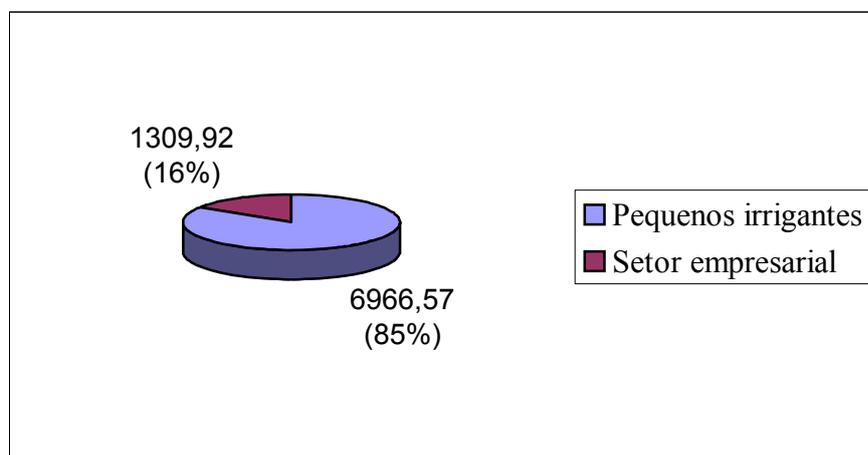
A etapa 2, denominada Projeto Morro Solto, foi planejada para implementação numa área contígua ao perímetro global da etapa 1, sendo objeto de financiamento pelo *Overseas Economic Corporation Fund* (OECF), resultante de acordo firmado entre o governo japonês e o governo do Estado de Minas Gerais (SECRETARIA DE PLANEJAMENTO E COORDENAÇÃO GERAL - SEPLAN-MG, 1990).

Em termos de sistemas de irrigação, o sistema de aspersão e a microaspersão são os dois tipos mais utilizados; o primeiro representa 87,9% da área irrigada, enquanto o segundo representa apenas 11,6%, basicamente utilizado para culturas perenes. O restante é destinado ao sistema de sulcos.

¹ A gleba D não possui quadro de distribuição de lotes, mas, de acordo com a CODEVASF (1999), ela apresenta 201 lotes úteis.

A gleba Mocambinho, área irrigável mais antiga do projeto, foi reabilitada e as obras substituíram o sistema de sulcos por irrigação pressurizada, mais eficiente e econômico. Com isso, foram acrescentados 40 lotes, sendo 38 irrigáveis, que permitiram o assentamento de igual número de famílias.

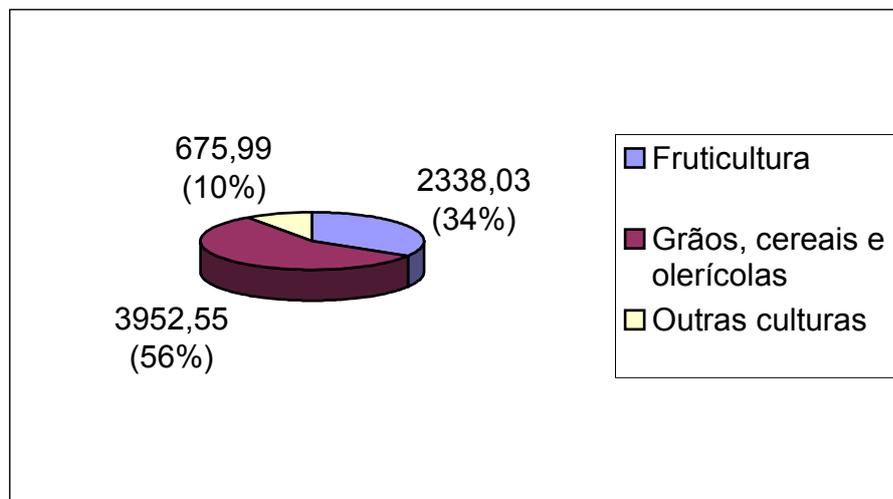
A Figura 1 apresenta a situação atual do Projeto de Irrigação do Jaíba quanto à distribuição da área irrigável cultivada entre pequenos irrigantes e empresários no ano de 1999. Os dados indicam que, em uma área total cultivada irrigável de 8.276,49 ha, a maior parte está distribuída entre os pequenos irrigantes, estando o restante da área com o setor empresarial, ou seja, cerca de 85 e 16%, respectivamente. As glebas designadas aos pequenos irrigantes e aos empresários apresentam características opostas no que diz respeito às culturas por estes exploradas.



Fonte: CODEVASF (1999).

Figura 1 - Distribuição da área irrigável cultivada, em ha, entre os pequenos irrigantes e o setor empresarial em 1999.

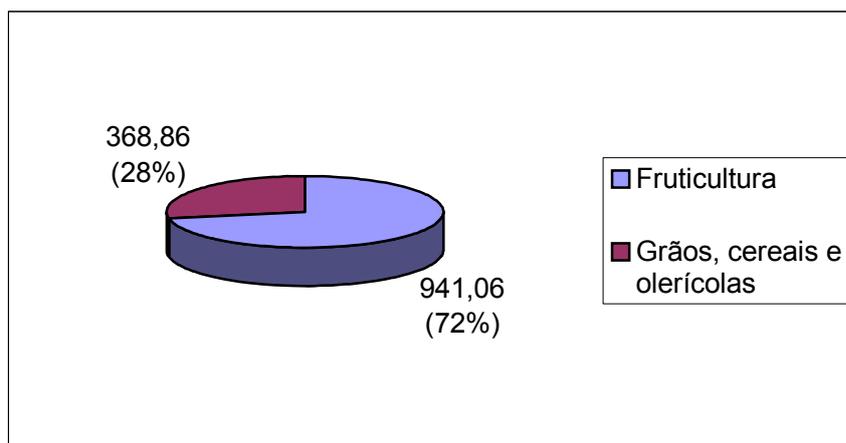
A Figura 2 indica que, para os pequenos irrigantes, do total plantado de 6.966,57 ha no ano de 1999, cerca de 34% da área irrigada cultivada está destinada à produção de frutas e cerca de 57% da área total cultivada está sendo explorada para a produção de grãos, cereais e olerícolas.



Fonte: CODEVASF (1999).

Figura 2 - Culturas exploradas, em ha, pelos pequenos irrigantes no ano de 1999.

A Figura 3 indica que o empresário destina a maior parte da área irrigada cultivada para a produção de frutas, sendo o restante para a produção de grãos, cereais e olerícolas (72 e 38%, respectivamente).

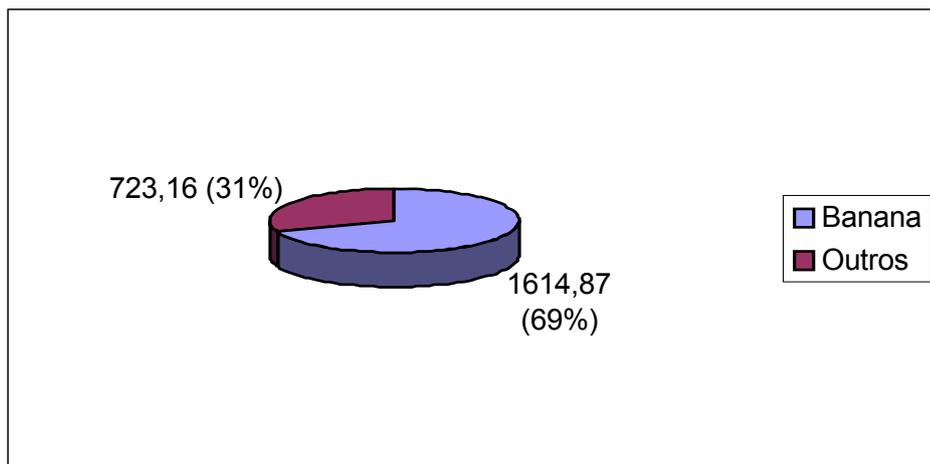


Fonte: CODEVASF (1999).

Figura 3 - Culturas exploradas, em ha, pelos empresários no ano de 1999.

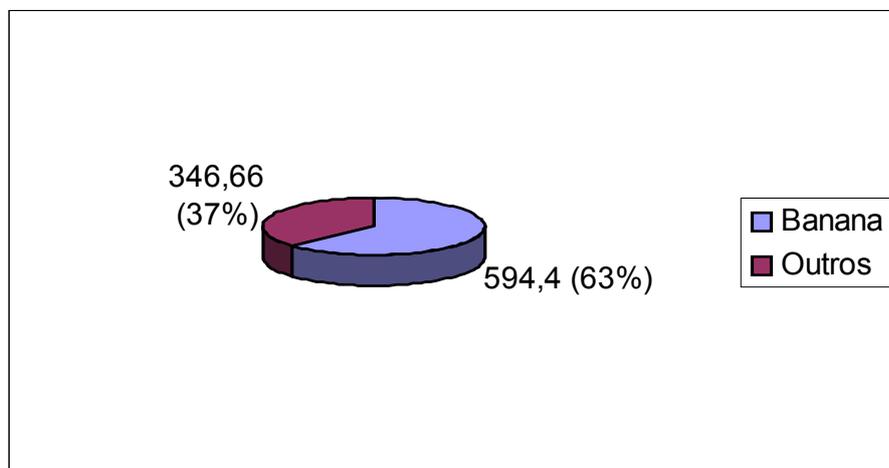
Analisando a fruticultura, observa-se, pelas Figuras 4 e 5, que a banana é a cultura de maior expressão tanto para os pequenos irrigantes como para os empresários, representando cerca de 69 e 63% da área plantada, respectivamente. Essa atividade ocupa uma área total de 2.209,27 hectares, sendo explorada por 818 pequenos irrigantes e 17 empresários.

Analisando as receitas arrecadadas, no Quadro 6, tem-se que os empresários, apesar de menor número e com menor área cultivada para fruticultura, obtiveram mais de 80% do valor total arrecadado pelos pequenos irrigantes no ano de 1999.



Fonte: CODEVASF (1999).

Figura 4 - Exploração da fruticultura, em ha, pelos pequenos irrigantes no ano de 1999.



Fonte: CODEVASF (1999).

Figura 5 - Exploração da fruticultura, em ha, pelos empresários no ano de 1999.

Quadro 6 - Receitas arrecadadas pelos pequenos irrigantes e empresários, em R\$, no ano de 1999

	Fruticultura	Grãos, cereais, olerícolas	Outros
Pequenos irrigantes	3.401.680,00	3.514.040,00	69.310,00
Empresários	2.859.501,00	791.967,00	-
Total	6.261.181,00	4.306.007,00	69.310,00

Fonte: CODEVASF (1999).

Segundo o relatório anual fornecido pela CODEVASF (1999), existe atualmente no projeto uma conscientização quanto à questão ambiental, como, por exemplo, a preservação florestal, o monitoramento das águas, os cuidados com o lixo agrotóxico, entre outros.

A área preservada do maciço florestal é de aproximadamente 17.000 ha, sendo esta representada pela reserva legal, pela reserva biológica, pelo corredor ecológico, pela reserva do dreno e por outras reservas individuais, que se encontram protegidas por torres de vigilância, cercas de proteção, aceira e vigias. Ainda como medidas de proteção ambiental, acham-se implantados, em locais estratégicos do projeto, 29 depósitos de lixos agrotóxicos, com vistas a facilitar o recolhimento das embalagens utilizadas.

Conforme levantamento da ENGENHARIA AGRÍCOLA LTDA - GEONORD (2001), existem no Projeto Jaíba, nas áreas A, B, C e F, 37 tipos diferentes de solo. Embora não seja limitante, há preferência por solos mais argilosos nas culturas de banana, pimentão e tomate. Segundo Ofício 031/2001 - UPGP, as demais culturas analisadas pelo presente estudo encontram-se em vários tipos de solos, apresentados a seguir. Os tipos de solo mais importantes são os seguintes:

- a) Latossolo Amarelo Álico A, com área de 6.421,32 ha ou 25,61% - caracteriza-se como um solo moderado, textura arenosa/média, fase caatinga hipoxerófila e de relevo plano com murunduns.
- b) Latossolo Amarelo Álico A, com área de 5.428 ha ou 21,65% - caracteriza-se como um solo moderado, textura arenosa/média, leve fase caatinga hipoxerófila e de relevo plano com murunduns.
- c) Latossolo Amarelo Álico A, com área de 2.041,65 ha ou 8,15% - caracteriza-se como um solo moderado, textura média/argilosa, fase caatinga hipoxerófila e de relevo plano com murunduns.
- d) Podzólico Vermelho-Amarelo Tb distrófico Latossólico A, com área de 1.606 ha ou 6,40% - caracteriza-se como um solo moderado, textura arenosa/média, fase floresta caducifólia e de relevo plano com murunduns.
- e) Latossolo Vermelho-Amarelo Álico A, com área de 1.248,30 ha ou 4,98% - caracteriza-se como um solo moderado, textura média/argilosa, fase caatinga hipoxerófila e de relevo plano com murunduns.
- f) Latossolo Vermelho-Amarelo Álico A, com área de 860,79 ha ou 3,43% - caracteriza-se como um solo moderado, textura média/média, fase caatinga hipoxerófila e de relevo plano com murunduns.
- g) Areia Quartzosa Álico A, com área de 811 ha ou 3,23% - caracteriza-se como um solo moderado, fase caatinga hipoxerófila e de relevo plano com murunduns.
- h) Latossolo Vermelho-Amarelo Álico A, com área de 676 ha ou 2,70% - caracteriza-se como um solo moderado, textura arenosa/média, fase caatinga hipoxerófila e de relevo plano com murunduns.
- i) Latossolo Vermelho-Amarelo Álico A, com área de 560,80 ha ou 2,24% - caracteriza-se como um solo moderado, textura arenosa/média, leve fase caatinga hipoxerófila e de relevo plano com murunduns.
- j) Latossolo Amarelo Entrófico A, com área de 525,20 ha ou 2,10% - caracteriza-se como um solo moderado, textura média/média, fase caatinga hipoxerófila e de relevo plano com murunduns.

Segundo estudo da ECOPLAN/MAGNA, citado pelo Ofício 031/2001 - UPGP, os 10 principais tipos de solo representam 80,45% da área total estudada, ou 20.179,06 ha; com relação à área Mocambinho, os solos foram divididos em dois grandes grupos, sendo o primeiro aluviões do São Francisco e Mocambinho, com área de 544,50 ha, e o segundo, solos de elevação com área de 1.953,50 ha.

Deve-se aqui destacar que o Projeto de Irrigação do Jaíba possui convênio com o BIRD/CODEVASF, sendo financiado pelo Banco do Nordeste do Brasil para projetos na área de fruticultura. Os trabalhos de pesquisa tiveram início em 1996, e os resultados obtidos nessa fase experimental mostraram-se promissores, sinalizando a continuidade do programa. Essa prática tem sido positiva, devido ao fato de propiciar mais uma fonte de renda ao produtor rural, assim como vantagens quanto à manutenção dos canais de irrigação.

Para viabilizar os objetivos propostos neste trabalho, procurou-se selecionar, a princípio, nove culturas alternativas que fossem representativas diante da produção agrícola da gleba C₂ - parcela empresarial e aplicadas às áreas de colonização (pequenos irrigantes). O propósito desse processo é o de redirecionar a produção dos pequenos irrigantes para culturas mais rentáveis. As culturas selecionadas representariam as atividades competitivas entre as quais o Tomador de Decisão deveria alocar seus recursos limitados.

A escolha da gleba C₂ (pequeno e médio empresário) como referência de rentabilidade deveu-se às condições socioeconômicas, ao acesso e à aceitação de novas tecnologias, além da crescente importância desse setor no processo de geração de renda, emprego e desenvolvimento da região. A utilização do Método de Tomada de Decisão com Critérios Múltiplos nas áreas de colonização auxiliará os pequenos produtores a tomarem decisões mais eficientes, além de servir de modelo para as outras glebas que apresentam problemas de produção, maximização de lucro e de alocação de recursos.

Os produtos selecionados do setor de fruticultura foram banana, melão, melancia e mamão, e os produtos selecionados do setor de grãos, cereais e hortaliças foram abóbora, cebola, pimentão e milho. A escolha desses produtos

resultou da comparação entre área de colonização e setor empresarial da área cultivada, da produção obtida e do valor de comercialização.

O Quadro 7 mostra a participação dos cinco principais produtos no setor de fruticultura da área de colonização quanto a área plantada, produção obtida e valor comercializado para o período compreendido entre janeiro e dezembro de 1999.

Quadro 7 - Área plantada, produção e valor comercializado de produtos selecionados da fruticultura na área de colonização, no período de janeiro a dezembro de 1999

Área cultivada (ha)		Produção obtida (kg)		Valor de comercialização (R\$)	
1. Banana	1.614,87	1. Banana	12.691.490	1. Banana	2.523.850,00
2. Melancia	238,59	2. Melancia	4.795.650	2. Melancia	412.020,00
3. Limão	115,20	3. Mamão	1.026.930	3. Mamão	331.660,00
4. Coco	104,19	4. Limão	309.590	4. Limão	75.140,00
5. Manga	94,77	5. Coco	104.490	5. Coco	31.040,00

Fonte: CODEVASF (1999).

Como pode ser observado pelo Quadro 7, o produto banana ainda é a cultura mais explorada pelos pequenos irrigantes, contribuindo com o maior valor de produção e valor de comercialização. A melancia, o limão, o coco e a manga, apesar de apresentarem menor área cultivada e produção obtida, aparecem como as culturas que mais contribuem para a complementação de receita das áreas de colonização.

O Quadro 8 mostra a participação desses produtos no setor de fruticultura do setor empresarial quanto a área plantada, produção obtida e valor comercializado para o período compreendido entre janeiro e dezembro de 1999.

Quadro 8 - Área plantada, produção e valor comercializado de produtos selecionados na fruticultura na área empresarial, no período de janeiro a dezembro de 1999

Área cultivada (ha)		Produção obtida (kg)		Valor de comercialização (R\$)	
1. Banana	594,40	1. Banana	429,80	1. Banana	2.004.821,00
2. Melancia	181,66	2. Melancia	148,60	2. Melancia	805.408,00
3. Manga	46,00		Nd	3. Mamão	29.150,00
4. Mamão	42,00		Nd	4. Melão	20.122,00
5. Melão	3,50		Nd		

Fonte: CODEVASF (1999).

Nd representa não-disponível.

Como pode ser comprovado pelo Quadro 8, o produto banana ainda é a cultura mais explorada pelos empresários, contribuindo com a maior produção e o maior valor de comercialização. A melancia, o mamão e o melão, apesar de apresentarem menor área cultivada e produção obtida, aparecem como alternativas ao cultivo da banana.

O Quadro 9 mostra a participação dos produtos do setor de grãos, cereais e hortaliças quanto a área plantada, produção obtida e valor comercializado na área de colonização, no período compreendido entre janeiro e dezembro de 1999.

O Quadro 9 mostra que o feijão é o principal produto comercializado pela área de colonização no ano de 1999. Os demais produtos alternam posições quanto a área cultivada, produção obtida e valor comercializado. O milho, por exemplo, é o produto que está em segundo lugar em área cultivada, mas, se for considerada sua contribuição no valor comercializado, ele ocupa o terceiro lugar. Os produtos como cebola, pimentão e tomate, apesar de apresentarem menores áreas cultivadas, apresentam considerável valor de comercialização.

Quadro 9 - Área plantada, produção e valor comercializado de produtos selecionados para o setor de grãos, cereais e olerícolas na área de colonização, no período de janeiro a dezembro de 1999

Área cultivada (ha)		Produção obtida (kg)		Valor de comercialização (R\$)	
1. Feijão	1.553,01	1. Cebola	4.140.730	1. Feijão	1.164.470,00
2. Milho	916,68	2. Tomate	2.821.090	2. Cebola	1.031.270,00
3. Cebola	278,83	3. Milho	1.574.850	3. Milho	251.130,00
4. Arroz	245,04	4. Feijão	94.880	4. Pimentão	210.370,00
5. Pimentão	134,80	5. Abóbora	503.060	5. Tomate	189.810,00
6. Tomate	90,40	6. Arroz	499.200	6. Arroz	120.900,00

Fonte: CODEVASF (1999).

O Quadro 10 mostra a área plantada, a produção e o valor comercializado de produtos selecionados para o setor de grãos, cereais e olerícolas na área empresarial, no período de janeiro a dezembro de 1999.

Quadro 10 - Área plantada, produção e valor comercializado de produtos selecionados para o setor de grãos, cereais e olerícolas na área empresarial, no período de janeiro a dezembro de 1999

Área cultivada (ha)		Produção obtida (kg)		Valor de comercialização (R\$)	
1. Abóbora	148,00	1. Abóbora	1.580.030	1. Abóbora	441.908,00
2. Milho	80,46	2. Cebola	319.800	2. Cebola	111.648,00
3. Cebola (bulbo)	81,10	3. Pepino	260.380	3. Pimentão	110.320,00
4. Pepino	15,50	4. Pimentão	190.210	4. Pepino	83.318,00
5. Pimentão	13,00	5. Tomate	38.680	5. Tomate	14.700,00
6. Tomate	4,50	6. Milho	21.000	6. Milho	12.665,00

Fonte: CODEVASF (1999).

O Quadro 10 mostra que a abóbora é o principal produto produzido e comercializado pelo setor empresarial no ano de 1999. Os demais produtos alternam posições quanto a área cultivada, produção obtida e valor comercializado. O milho, por exemplo, é o produto que está em segundo lugar em área cultivada, mas, se for considerada sua contribuição no valor comercializado, ele ocupa o sexto lugar. Produtos como cebola, pimentão, pepino e tomate, apesar de menores áreas cultivadas, apresentam elevado valor de comercialização.

Depois de comprovada a representatividade dos produtos selecionados no cenário agrícola do setor empresarial e na área de colonização do Projeto de Irrigação do Jaíba, faz-se necessário que se conheçam os coeficientes técnicos de produção associados a cada produto, em função dos recursos a serem estudados. Procedeu-se então a um levantamento dos coeficientes técnicos de produção para as culturas selecionadas para o setor empresarial. Os dados foram obtidos a partir da solicitação das planilhas de produção na Superintendência de Desenvolvimento do Norte de Minas (SUDENOR) e no Distrito de Irrigação do Jaíba (DIJ).

Portanto, as considerações mencionadas anteriormente justificam o interesse em buscar novas posturas gerenciais em sistemas produtivos modernos, como no caso do Projeto Jaíba, preservando não apenas a rentabilidade do negócio agrícola, como também auxiliando no processo de tomada de decisão dos produtores rurais. O planejamento agrícola, centrado em métodos de Programação com Objetivos Múltiplos, pode auxiliar na elaboração de estratégias mais estáveis e satisfatórias, que respeitem as condições socioeconômicas predeterminadas, além de contribuir para a melhoria nas condições de vida do pequeno produtor rural.

1.2. Objetivos

O objetivo geral deste estudo foi o de aplicar métodos de Programação sob Múltiplos Critérios como uma ferramenta que auxilie o pequeno produtor

rural do Projeto de Irrigação do Jaíba em atividades de planejamento da estratégia de produção mais econômica para dado período de tempo, considerando as informações disponíveis interna e externamente à propriedade rural.

Especificamente, pretendeu-se estabelecer e quantificar um conjunto de atividades produtivas, de modo a:

- Maximizar a margem bruta do processo produtivo, fornecendo ao tomador de decisão a melhor estratégia de produção a ser adotada para determinado período.
- Otimizar o emprego de mão-de-obra de baixa qualificação em dias-homem ao longo do período.
- Minimizar o risco econômico no processo de planejamento financeiro do pequeno produtor para financiar a produção do período.
- Minimizar impactos ambientais, fornecendo ao produtor rural a decisão da melhor estratégia quanto à quantidade de água e agrotóxicos a serem requeridos no período, dada a característica do solo onde é feito o plantio.
- Otimizar o lote de 5 hectares em área produzida e o produto a ser recomendado para produção.

1.3. Organização do estudo

Este estudo está organizado em cinco tópicos, incluída esta introdução. De início, discute-se que, em razão do processo de globalização, o setor agrícola brasileiro sofreu transformações marcantes no arranjo espacial e na formulação de novas posturas gerenciais. Discute-se ainda a demanda para o desenvolvimento formal de técnicas de planejamento baseadas na construção e análise de modelos matemáticos. Este item termina com a especificação dos objetivos desta pesquisa. O segundo tópico discute uma série de trabalhos nos quais se aplicou um conjunto de metodologias de otimização sob critérios múltiplos em programas de irrigação localizados em regiões semi-áridas e áridas. Dentre as metodologias utilizadas pelos estudos estão o Método de Análise

Hierárquica e os Modelos de Otimização sob Critérios Múltiplos. A partir daí apresenta-se o processo de tomada de decisão sob critérios múltiplos envolvendo as etapas do processo de tomada de decisão e a estrutura operacional para acomodar as técnicas de otimização com múltiplos objetivos. O terceiro tópico contém a modelagem dos Métodos de Programação Linear com Objetivos Múltiplos que foram desenvolvidos utilizando o referencial teórico apresentado no segundo tópico. A partir daí, o quarto tópico apresenta e discute os resultados obtidos para as duas versões de modelos analisadas: uma versão considerando a modelagem pelo Método de Ponderação e uma outra, abrangendo a modelagem pelo Método de Geração de Soluções Eficientes. Finalmente, no último tópico apresentam-se as conclusões obtidas neste estudo, bem como sugestões consideradas relevantes para estudos futuros.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Este tópico se divide em três seções. A primeira delas descreve o processo de tomada de decisão sob critérios múltiplos e a estrutura operacional que acomoda a maioria das técnicas de otimização com objetivos múltiplos. A segunda seção apresenta o Método de Análise Hierárquica como uma ferramenta valiosa no processo de tomada de decisão. Finalmente, a terceira seção discute o Método de Programação Linear com Objetivos Múltiplos e algumas técnicas existentes.

2.1. Tomada de decisão sob critérios múltiplos

O avanço no desenvolvimento de modelos de Programação Matemática que auxiliam o processo de tomada de decisão, tanto em termos analíticos como computacionais, tem contribuído para que a construção de modelos matemáticos seja uma ferramenta de pesquisa e promotora de eficiência decisória para vários setores da economia.

Segundo TURBAN (1993), a tomada de decisão foi considerada durante muito tempo como uma verdadeira arte, um talento, que ia sendo melhorado ao longo do tempo por meio do processo de aprendizado, via tentativa e erro. Dessa forma, o processo decisório era principalmente baseado em criatividade,

juízo, intuição e experiência do administrador do que em métodos analíticos e quantitativos com suporte científico.

VALE (1995:2) afirmou:

“Muitos administradores acreditam que suas decisões devem ser baseadas, principalmente, em fatos sólidos e em análises cuidadosas, mas outros confiam na intuição e na experiência, aparentemente indiferentes às suas necessidades de informação”.

No entanto, a tomada de decisão é mais complexa, em razão da interação de variáveis internas e externas, do envolvimento de vários “atores” no processo de tomada de decisão, dos problemas de recursos e de oferta, das implicações de mercado, dos fatores ambientais, do ritmo da mudança tecnológica e do impacto do crescimento e da diversificação da produção.

Deve-se compreender que o gerenciamento da propriedade rural é um processo contínuo e dinâmico, no qual a preocupação básica é a garantia do bom desempenho econômico do empreendimento. Isso significa, basicamente, que o administrador rural deverá tomar decisões envolvendo a alocação de recursos limitados de terra, trabalho e capital, associados a múltiplas alternativas de produção e organização da propriedade.

A complexidade de tal argumento está na própria definição do termo agronegócio. De acordo com LÍCIO (1998), o agronegócio abrange toda a economia do setor agrícola, sendo esta composta por atividades de produção agrícola como lavouras, pecuária e extração vegetal, mais aquelas que as suprem de insumos (*backward linkage*) e as que dão suporte ao produto até a mesa do consumidor final (*forward linkage*). Especificamente, tem-se que:

“Vinculam-se para trás (backward linkage) com os setores agrícolas as indústrias de fertilizantes, defensivos, máquinas e equipamentos agrícolas, financiamentos (crédito rural para investimento e custeio) e os transportes desses insumos. Da mesma forma, vinculam-se para frente (forward linkage) os transportadores dos produtos agrícolas, os agentes financeiros que apóiam a comercialização, os armazenadores e o comércio (atacado e varejo), neste último encaixando-se o importante subsector de alimentação fora de casa (restaurantes, lanchonetes, bares, etc.)”.

ZELNY (1982) afirma que a tomada de decisão é um processo dinâmico, no qual se buscam as informações que, por sua vez, são enriquecidas pelo *feedback* resultante da análise de todas as conseqüências possíveis, reunindo

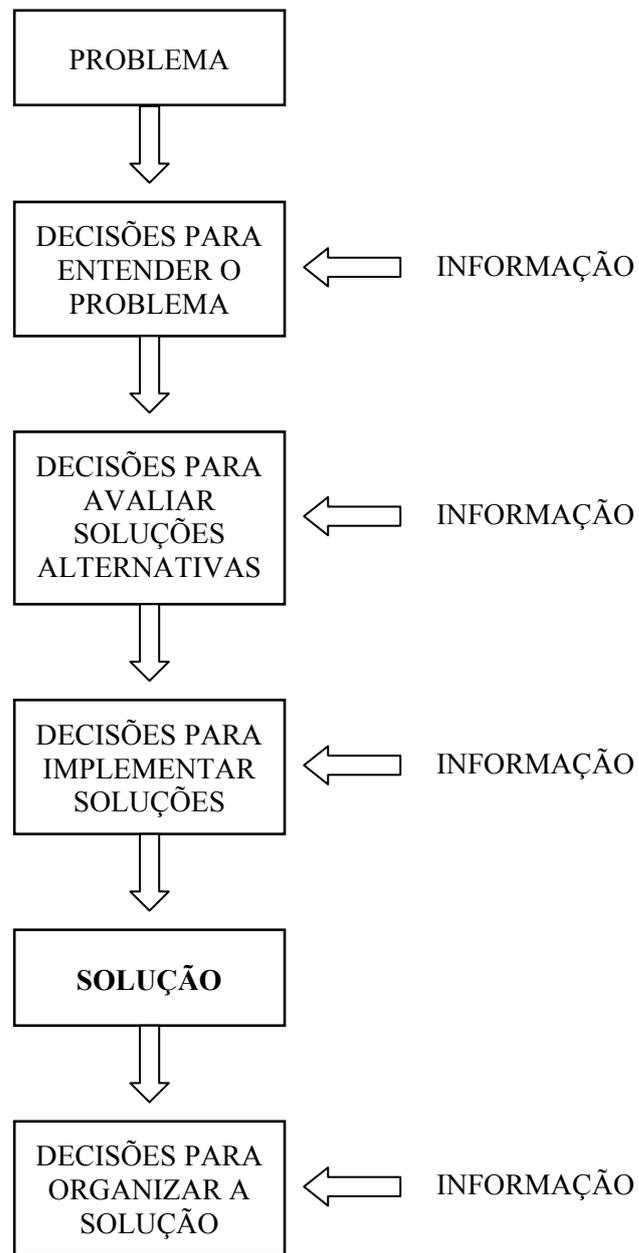
e eliminando informações, levando-se em consideração incertezas e conceitos indistintos e conflitantes. Trata-se de um processo com todos os componentes envolvidos, alterando-se e evoluindo durante sua execução.

Para WYSONG JR. (1985), informação consiste em um corpo de conhecimento que reduz a incerteza sobre os acontecimentos futuros. Precisa ser comunicada, recebida e compreendida; pode ser histórica ou preditiva, ou a combinação das duas.

A informação resulta da transformação de fatos básicos, de classificação e registro, da análise, da solução, da interpretação e da apresentação de dados, seletivamente, em formato útil e oportuno.

A importância da informação é apresentada por McLEOD JR. (1990), na Figura 6, e por SIMON (1977). Na Figura 6, observa-se que a informação auxilia os tomadores de decisão na tomada das várias alternativas de decisões, contribuindo, assim, para a solução de problemas e a melhor compreensão deste, além de avaliar as soluções alternativas e implementar a melhor solução, ou soluções. O segundo autor considera que o tomador de decisão divide o tempo em três atividades, ou três fases principais do processo de tomada de decisão, que são: (a) descoberta da razão para a tomada de decisão; (b) descoberta do conjunto de ações possíveis; e (c) escolha entre as ações alternativas.

Segundo SANDERS (1974), cada administrador particular deve possuir informações específicas que atenda aos objetivos de: estabelecer, avaliar e ajustar metas; desenvolver planos e padrões para iniciar ações; medir a “performance” atual e desenvolver ações apropriadas quando a “performance” variar do padrão; e avaliar as realizações. Além disso, precisa adquirir a informação de que precisa para: identificar aqueles fatores que são críticos para o sucesso de sua contribuição para as metas do planejamento; determinar como esses fatores podem ser medidos; determinar, para cada fator crítico, que medidas quantificáveis constituem o sucesso; e adquirir informações necessárias para alcançar as medidas de sucesso.



Fonte: McLEOD JR. (1990).

Figura 6 - Importância da informação na tomada de decisão.

A prática de tomada de decisão no setor agrícola está ligada à avaliação de todas as alternativas possíveis, satisfazendo um conjunto de objetivos pretendidos e restrições impostas. O problema está em escolher a alternativa que melhor satisfaz o conjunto total de objetivos, levando-se em consideração recursos econômicos escassos, o que caracteriza uma tomada de decisão multicritério.

De acordo com YOON e HWANG (1995), tomar decisões sob critérios múltiplos significa efetuar decisões de preferência, avaliando, priorizando e selecionando as alternativas disponíveis, que são caracterizadas por objetivos múltiplos e, geralmente, conflitantes.

ZELNY (1982) considera que os conflitos ocorrem no momento em que duas estratégias distintas, selecionadas como formas de atingir determinadas metas ou objetivos, são mutuamente exclusivas, ou seja, quando as estratégias tornam-se alternativas, cada uma capaz de satisfazer apenas uma porção ou um aspecto particular de um dado conjunto de alternativas disponíveis.

Segundo CONTINI et al. (1984), os objetivos e metas podem ser os mais variados possíveis, podendo ser conflitantes, complementares, excludentes ou indiferentes uns dos outros. Contudo, devem-se definir as prioridades, principalmente no caso dos objetivos conflitantes, como, por exemplo, aumentar a renda sem que haja aumento no nível de risco.

A existência de conflitos, associada à impossibilidade de otimizar, simultaneamente, todas as metas consideradas, conduz o tomador de decisão a aceitar a possibilidade de não atingir uma determinada meta, desde que isto lhe possibilite alcance maior de alguma outra meta. A aparente situação em que se enquadra o tomador de decisão é caracterizada, pela literatura, como sendo uma situação de *trade off*².

Monarchi, citado por GOICOCHEA et al. (1982), afirma que a existência de conflitos pode ser solucionada por meio de inovação e adaptação. A inovação representa o desenvolvimento de alternativas previamente desconhecidas, de

² Segundo RAE (1994), *trade off* significa a proporção do nível de alcance de um critério que deve ser sacrificado para que se obtenha o aumento no nível de alcance de outro critério.

forma que as metas originais possam ser atendidas. Essa forma de solução utiliza a informação como referencial para novas direções de busca. A adaptação representa mudanças na atual estrutura de valores do tomador de decisão, de forma que este se satisfaça com alguma alternativa disponível.

Antes de prosseguir na especificação da estrutura operacional do processo de tomada de decisão, é conveniente estabelecer uma distinção detalhada sobre alguns conceitos freqüentemente empregados nos modelos desenvolvidos. Os conceitos aqui apresentados são os de otimalidade de Pareto, soluções eficientes ou soluções não-dominadas, fronteira eficiente ou curva de *trade off*³.

Assume-se, inicialmente, que o tomador de decisão tenha dois objetivos a serem otimizados, e o conjunto de pontos viáveis, sob consideração, deverá satisfazer a um dado conjunto de restrições. A otimalidade de Pareto, para um problema com objetivos múltiplos, implica que uma solução viável é Pareto ótima, se nenhuma outra solução viável puder atingir o mesmo desempenho para todos os objetivos considerados e, ainda, ser estritamente melhor para, pelo menos, um objetivo.

A solução não-dominada é uma solução viável, para a qual um aumento no valor de qualquer objetivo somente pode ser alcançado à custa de uma redução no valor de pelo menos um outro objetivo.

Com isso, as soluções ótimas de Pareto são o conjunto de todas as soluções viáveis não-dominadas. Representando, graficamente, os valores das funções-objetivo associados às soluções ótimas no plano x-y, com o eixo-x representando os valores do objetivo 1, e o eixo-y os valores do objetivo 2, tem-se a chamada Fronteira de Eficiência ou Curva de *Trade off*.

A situação pode ser ilustrada: para isso, suponha que o conjunto de soluções viáveis para um problema de objetivos múltiplos seja a região sombreada, limitada pela curva AB na Figura 7. Desejando-se maximizar ambos os objetivos 1 e 2, então a curva AB é o conjunto de pontos Pareto ótimos ou eficientes.

³ Os conceitos apresentados serão definidos tomando-se por base o estudo de WINSTON (1994).

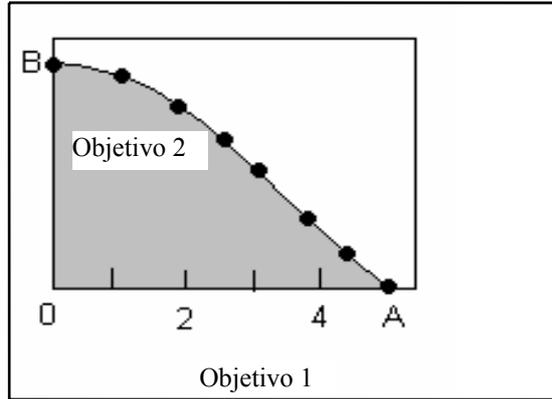


Figura 7 - Curva de maximização dos objetivos 1 e 2.

A Figura 8 mostra que, supondo que o conjunto de valores das funções-objetivo, associados às soluções viáveis para um problema de múltiplos objetivos, seja toda a área sombreada no primeiro quadrante, limitado por baixo pela curva AB. Se a meta for maximizar o objetivo 1 e minimizar o objetivo 2, então a curva AB é formada pelo conjunto de pontos Pareto ótimos⁴.

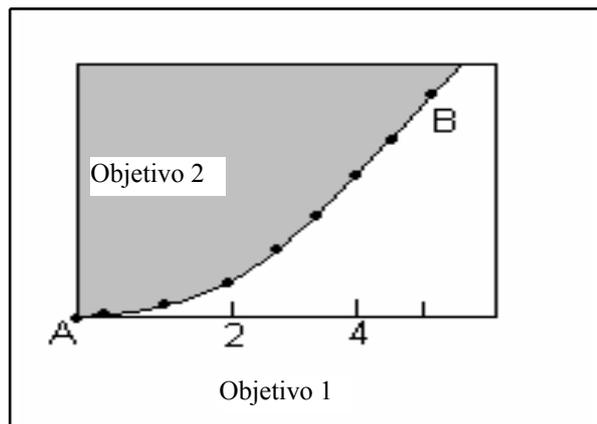


Figura 8 - Curva de MAX do objetivo 1 e MIN do objetivo 2.

⁴ Em situações em que há mais do que dois objetivos é comum recorrer ao exame de curvas de *trade off* entre diferentes pares de objetivos.

O procedimento usado para construir as curvas de *trade off* entre dois objetivos pode ser sumariado como segue:

- **Etapa 1:** Escolher um objetivo, como, por exemplo, o objetivo 1, e determinar o melhor valor deste objetivo que pode ser alcançado (chamado de v_1). Para a solução obtida v_1 , encontrar o valor do objetivo 2 (chamado de v_2). Então, v_1, v_2 é um ponto da curva de *trade off*.
- **Etapa 2:** Para valores v do objetivo 2 que são melhores do que v_2 , resolver o problema de otimização na etapa 1 com uma restrição adicional: que o valor do objetivo 2 seja ao menos tão bom quanto v . Variando-se o v (sobre valores de v preferíveis em relação a v_2), obtém-se outro ponto da curva *trade off*.
- **Etapa 3:** na etapa 1 obteve-se um ponto final da curva de *trade off*. Se for determinado o melhor valor do objetivo 2 que pode ser alcançado, obtém-se o outro ponto final da curva de *trade off*.

Em um problema de objetivos múltiplos onde tanto restrições quanto objetivos são funções lineares, a curva de *trade off* é linearizada por partes, com inclinações diferentes.

Para que se possa entender o processo de tomada de decisão, Goicochea, citado por FATURETO (1997), sugere a seguinte estrutura operacional, que é geral o suficiente para acomodar a maioria das técnicas de otimização com objetivos múltiplos.

1. Preparar uma formulação geral das necessidades, na forma como percebidas pelo estudo do problema em consideração.
2. Formular metas amplas e objetivos mais específicos, que devem refletir os valores sociais e as necessidades estabelecidas anteriormente.
3. Identificar variáveis de decisão pertinentes.
4. Selecionar uma estrutura matemática para a análise de objetivos múltiplos.
5. Formular um conjunto de funções-objetivo. Cada função deve endereçar uma ou mais das metas ou dos objetivos estabelecidos em 2 e deve ser expressa em termos das variáveis de decisão relacionadas em 3. De forma coletiva, o conjunto de funções-objetivo deve endereçar todas as metas e os objetivos especificados em 2.

6. Formular um conjunto de restrições físicas. Estas restrições devem ser funções das variáveis de decisão e devem representar limitações dos recursos disponíveis.
7. Gerar uma solução ou plano de ação inicial. A composição desta solução pode ser baseada em valor atingido por cada uma das funções-objetivo.
8. Avaliar as conseqüências atuais diretas desse plano de ação. Uma vez que uma solução é gerada, suas conseqüências podem ser delineadas em termos de recursos atuais utilizados e da forma pela qual as metas estabelecidas em 2 são atingidas.
9. Determinar se a solução inicial é aceitável para o tomador de decisão. O tomador de decisão responsável pelo projeto deve subjetivamente acessar o valor ou “utilidade” da solução atual. Se a solução inicial for aceitável, seguir para o passo 14. Entretanto, os valores atingidos para algumas das funções-objetivo podem ser mais baixos do que o esperado, fazendo com que a solução inicial gerada não seja satisfatória. Se isto acontecer, seguir para 10.
10. Determinar se o tomador de decisão está interessado em relaxar alguma das suas expectativas. Aqui, essencialmente, o tomador de decisão deve definitivamente determinar se ele aceita receber menos em alguma das funções-objetivo, na esperança de receber mais em outras, e ainda considerar o valor agregado aceitável. Se afirmativo, seguir para o passo 11, se não, seguir para 12.
11. Respostas devem ser elaboradas pelo tomador de decisão na tentativa de estabelecer o valor relativo das funções-objetivo. Alguns esquemas estarão disponíveis para estruturar estas respostas em “pesos”, que, agora, podem ser incorporados na estrutura matemática para gerar outra solução alternativa.
12. Determinar se recursos ou tecnologias adicionais, como capital, tempo, mão-de-obra, equipamentos e outros, podem ser comprometidos com o projeto. Em caso afirmativo, retornar ao passo 6. Caso contrário, seguir para o passo 13.
13. Nenhum plano viável alternativo está disponível.
14. Implementar a solução inicial gerada.

De acordo com FATURETO (1997), deve-se considerar que a escolha do número e da composição dos objetivos múltiplos pode determinar o nível de sucesso em processos de planejamento. O ideal é encontrar um equilíbrio, de forma que o número de objetivos selecionados ajude a assegurar o aceite do plano proposto.

Para BARNETT et al. (1982), a programação com múltiplos critérios apresenta a vantagem de permitir uma representação mais precisa das funções de utilidades na tomada de decisão, garantindo, assim, melhores previsões e decisões a serem tomadas.

Para os autores, o método de programação com múltiplos critérios pode ser caracterizado como descritivo, operacional e combinado. A abordagem descritiva é utilizada no caso em que o tomador de decisão, ao possuir múltiplos objetivos, procura hierarquizar os objetivos por meio de pesos. A abordagem operacional procura hipotetizar pesos para os objetivos, com a intenção de examinar seus impactos em um modelo de decisão. A combinação dessas abordagens procura, primeiramente, descobrir objetivos e seus pesos e, depois, utilizá-los em modelo de decisão. No entanto, tal abordagem é a menos utilizada na análise de tomada de decisão com múltiplos objetivos.

A ênfase em diferentes objetivos poderá afetar a escolha de técnicas, o caminho para o desenvolvimento e as prioridades de pesquisas. Devem-se considerar, para um planejamento consistente, todos os objetivos impostos sobre a área estudada.

Contudo, de acordo com CLEMEN (1991), há uma insatisfação por parte dos tomadores de decisão, como, por exemplo, gerentes de propriedades rurais e elaboradores de políticas, no sentido de que falta, em Ciências Gerenciais e Pesquisa Operacional, um procedimento analítico que inclua os julgamentos subjetivos. Segundo o autor, os julgamentos pessoais sobre incerteza e preferências são importantes *inputs* para o processo de tomada e análise de decisão, não podendo, assim, ser deixados de lado.

ALPHONCE (1997) reafirma essa constatação mostrando que tomadores de decisão que confiam em modelos tradicionais de Pesquisa Operacional correm

o risco de ignorar importantes fatores qualitativos que contribuem para a tomada de decisão.

Nos casos em que o planejamento é centrado em Modelos de Múltiplos Critérios, a não-utilização de técnicas de julgamentos qualitativos poderá comprometer não só a elaboração do planejamento da produção do produtor rural, como também os objetivos a serem alcançados.

A aplicação de técnicas abordando julgamentos qualitativos nos Modelos de Múltiplos Critérios vem recebendo crescente atenção, sendo o Método de Análise Hierárquica - MAH (SAATY, 1991) o mais recente e promissor. A seção seguinte abordará com mais detalhes o MAH.

2.2. Método de análise hierárquica

O Método de Análise Hierárquica (MAH), desenvolvido na década de 70 por Thomas L. Saaty, da Universidade da Pensilvânia (SAATY, 1990 e 1991), é o método adotado neste estudo para a geração dos pesos das funções-objetivo. O método tem como objetivo facilitar a incorporação de considerações qualitativas e subjetivas dentro de fatores quantitativos para o processo de tomada de decisão.

O MAH procura hierarquizar os objetivos por meio de comparações paritárias, ou seja, a preocupação está na obtenção de pesos numéricos para alternativas com relação a subobjetivos e para subobjetivos com relação a objetivos de ordem mais elevada. Por hierarquia entende-se um tipo particular de sistema, que é baseado no conceito de que as entidades, que tenham sido identificadas, podem ser agrupadas em conjuntos distintos, com as entidades de um grupo influenciando apenas um grupo e sendo influenciadas pelas entidades de apenas um outro grupo⁵.

Para ALPHONCE (1997), a hierarquia não necessita ser completa; por exemplo, um elemento em um dado nível não precisa funcionar como um critério para todos os elementos no nível inferior. Nesse sentido, uma hierarquia poderá

⁵ O MAH é formalizado no Referencial Analítico.

ser dividida em sub-hierarquias, compartilhando-se apenas o elemento comum mais importante.

De acordo com SAATY (1991), existem quatro vantagens em se utilizar um modelo de hierarquias: a) a representação hierárquica de um sistema pode ser usada para descrever como as mudanças em prioridades nos níveis mais altos afetam a prioridade dos níveis mais baixos; b) os sistemas naturais montados hierarquicamente desenvolvem-se mais eficientemente do que aqueles montados de um modo geral; c) as hierarquias oferecem detalhes de informação sobre a estrutura e as funções de um sistema nos níveis mais baixos, permitindo uma visão geral dos atores e de seus propósitos nos níveis mais altos; e d) o modelo de hierarquias é estável e flexível, ou seja, é estável porque pequenas modificações têm efeitos pequenos e flexível porque adições a uma hierarquia bem estruturada não perturbam o desempenho.

Uma vez que o modelo hierárquico tenha sido estruturado para o problema, os tomadores de decisão participantes providenciarão comparações em forma de pares para cada nível de hierarquia, a fim de, com isso, obter o fator peso de cada elemento no nível observado, com respeito a um elemento no próximo nível mais alto. O fator peso oferece uma medida de importância relativa desse elemento para o tomador de decisão.

O MAH apresenta a possibilidade de identificar, além de levar em consideração, as inconsistências pessoais dos tomadores de decisão. Por inconsistência entende-se que os tomadores de decisão são raramente consistentes em seus julgamentos, com respeito aos aspectos qualitativos. O MAH incorpora tais inconsistências no modelo e oferece aos tomadores de decisão uma medida dessas inconsistências.

Para SCHOEMAKER e WAID (1982), a grande vantagem do MAH está em sua habilidade em manusear problemas complexos da vida real e em sua facilidade de uso.

Outra vantagem a ser observada está no fato de que o MAH é uma ferramenta freqüentemente apreciada para decisão com múltiplos critérios, quando utilizada em problemas econômicos de países em desenvolvimento. Isto

porque ele possibilita considerações sociais, culturais e outras não-econômicas que serão incorporadas no processo de tomada de decisão.

O método consiste em uma abordagem de tomada de decisão sob critérios múltiplos, na qual os fatores são arranjados em uma estrutura hierárquica, ou seja, decompõe-se um problema complexo em hierarquias, no qual cada nível será composto de elementos específicos. Os fatores, uma vez selecionados, são distribuídos em uma estrutura hierárquica descendente e em níveis sucessivos, partindo de um critério no topo da hierarquia em direção aos demais critérios, subcritérios e subseqüentes alternativas de decisão. A intuição por trás do modelo MAH é apresentada a seguir.

Supondo que n atividades estejam sendo consideradas por um grupo de pessoas interessadas e que os objetivos do grupo sejam: a) desenvolver julgamentos sobre a importância relativa dessas atividades; e b) assegurar que os julgamentos sejam quantificados de modo que permitam uma interpretação quantitativa dos julgamentos entre todas as atividades.

O objetivo é descrever um método de derivação, a partir dos julgamentos quantificados do grupo, de modo que um conjunto de pesos seja associado às atividades individuais. Estes pesos devem refletir os julgamentos quantificados do grupo. Essa abordagem pretende tomar a informação resultante de (a) e de (b) utilizável sem omitir informações contidas nos julgamentos qualitativos.

O conjunto de atividades é definido como x_1, x_2, \dots, x_n . Os julgamentos quantificados dos pares de atividades (x_i, x_j) são representados por uma matriz $A_{(n \times n)}$.

$$A = (a_{ij}), \text{ (para } i, j = 1, 2, \dots, n). \quad (1)$$

Os elementos a_{ij} são definidos pelas seguintes regras:

1. Se $a_{ij} = a$, então $a_{ji} = 1/a$, $a \neq 0$.
2. Se x_i é julgado como de igual importância relativa a x_j , então $a_{ij} = 1$, $a_{ji} = 1$ e, em particular, $a_{ii} = 1$ para todo i .

Assim, a matriz A tem a seguinte forma:

$$A = \begin{bmatrix} 1 & \alpha_{12} & \cdots & \alpha_{1n} \\ 1/\alpha_{12} & 1 & \cdots & \alpha_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1/\alpha_{1n} & 1/\alpha_{2n} & \cdots & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

Sendo os julgamentos registrados e quantificados em partes (x_i, x_j), como elementos numéricos a_{ij} na matriz A, o problema agora é designar para n contingências x_1, x_2, \dots, x_n um conjunto de pesos numéricos w_1, w_2, \dots, w_n que reflitam nos julgamentos registrados. Estes pesos devem refletir os julgamentos quantificados do grupo. Isso cria a necessidade de se descrever, em termos aritméticos precisos, como os pesos w_i devem relacionar-se com os julgamentos a_{ij} .

Segundo SAATY (1990), a descrição desejada deve ser desenvolvida em três etapas, partindo-se do caso especial mais simples para o mais geral.

Etapa 1: Supõe-se primeiro que os julgamentos sejam meramente o resultado de medidas físicas precisas. Por exemplo: Os juízes recebem um conjunto de objetos x_1, x_2, \dots, x_n e uma balança de precisão. Para comparar x_1 com x_2 , eles colocam x_1 em uma balança e lêem seu peso - w_1 igual a 305 gramas. Então, pesam x_2 e encontram $w_2 = 244$ gramas. Dividindo w_1 por w_2 , encontram 1,25. Julgam então que “ x_1 é 1,25 vez mais pesado que x_2 ”, registrando-se $a_{12} = 1,25$, ou seja, w_i é o peso relativo do elemento i . Assim, neste caso ideal de medida exata, as relações entre os pesos w_i e os julgamentos a_{ij} são simplesmente dadas por⁶:

$$w_i/w_j = a_{ij} \quad (\text{para } i, j = 1, 2, \dots, n) \quad (3)$$

⁶ Após a obtenção dos pesos, é necessário compará-los em um quadro de julgamentos paritários.

$$A = \begin{bmatrix} w_1/w_1 & w_1/w_2 & \dots & w_1/w_n \\ w_2/w_1 & w_2/w_2 & \dots & w_2/w_n \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ w_n/w_1 & w_n/w_2 & \dots & w_n/w_n \end{bmatrix} \quad (4)$$

Etapa 2: Para permitir margem de desvios, deve-se considerar a linha ordem “i” da matriz A. Nesse sentido, os elementos naquela linha são:

$$a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{ij}, \dots, a_{in} \quad (5)$$

No caso exato, estes valores são os mesmos das razões:

$$w_i/w_1, w_1/w_2, \dots, w_i/w_j, \dots, w_1/w_n \quad (6)$$

Então, no caso exato, se o primeiro elemento daquela linha for multiplicado por w_1 , o segundo elemento por w_2 e assim por diante, obtém-se:

$$(w_i/w_1)w_1 = w_i, (w_i/w_2)w_2 = w_i, \dots, (w_j/w_j)w_1 = w_i, \dots, (w_i/w_n)w_n = w_i \quad (7)$$

O resultado é uma linha de elementos idênticos, ou seja:

$$w_i, w_i, \dots, w_i \quad (8)$$

em que, de modo geral, obtém-se uma linha de elementos que representaria o espalhamento estatístico dos valores em torno de w_i . Nesse sentido, é mais conveniente dizer que w_i seja a média desses valores. Conseqüentemente, em vez das relações da equação (3), devem-se assumir relações mais realistas, ou seja, w_i é igual à média de $a_{i1}w_1, a_{i2}w_2, \dots, a_{in}w_n$.

Mais explicitamente, tem-se:

$$w_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n a_{ij} w_j \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (9)$$

Etapa 3: À medida que a_{ij} é modificado, percebe-se que haverá uma solução correspondente da equação (9), isto é, w_i e w_j podem ser modificados

para acomodar esta variação em a_{ij} , se n também sofrer modificações. Representa-se o valor de n por λ_{\max} . Assim, o problema:

$$w_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n a_{ij} w_j \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (9)$$

$$w_i = \frac{1}{\lambda_{\max}} \sum_{j=1}^n a_{ij} w_j \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (10)$$

tem uma solução que também é única. Em geral, desvios em a_{ij} podem levar a grandes desvios tanto em λ_{\max} como em w_i , $i = 1, 2, \dots, n$. Entretanto, este não é o caso para uma matriz recíproca que satisfaça às regras 1 e 2. Neste caso, tem-se uma solução estável. Existe outro modo de armar esses conceitos em notação matemática, isto é:

$$\begin{matrix} & A_1 & A_2 & \dots & A_n \\ A_1 & \begin{bmatrix} w_1/w_1 & w_1/w_2 & \dots & w_1/w_n \end{bmatrix} \\ A_2 & \begin{bmatrix} w_2/w_1 & w_2/w_2 & \dots & w_2/w_n \end{bmatrix} \\ \vdots & \begin{bmatrix} \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \end{bmatrix} \\ A_n & \begin{bmatrix} w_n/w_1 & w_n/w_2 & \dots & w_n/w_n \end{bmatrix} \end{matrix} \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix} = n \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix} \quad (11)$$

A equação matricial (11) mostra que, multiplicando-se a matrix A pelo vetor de pesos, o resultado obtido será nw . Mais especificamente, tem-se a seguinte notação:

$$Aw = nw \quad (12)$$

em que A é uma matriz consistente. Segundo SAATY (1990), A é consistente devido à satisfação da seguinte condição: $a_{jk} = a_{ik}/a_{ij}$, $i, j, k = 1, 2, \dots, n$.

Contudo, pela teoria do autovalor, uma pequena perturbação próximo a um autovalor simples n , quando A é consistente, poderá incorrer em um problema de autovalor na forma $Aw = \lambda_{\max} w$, em que λ_{\max} é o principal autovalor da matriz A , em que A talvez não seja mais consistente, mas continuando

recíproco. A questão passa a ser até que ponto o peso w reflete a real opinião do *expert*.

Nesse caso, tem-se o que se chama de inconsistência da matriz, podendo ser capturada por um simples número $\lambda_{\max} - n$, o qual mede os desvios dos julgamentos de uma consistente aproximação. A matriz A é inconsistente se e somente se $\lambda_{\max} = n$. No entanto, é possível estimar o desvio de consistência por um índice chamado de índice de consistência, o qual é determinado por $\lambda_{\max} - n/n - 1$. Se o índice de consistência for menor do que 0,10, então os resultados são suficientemente precisos e uma nova avaliação não é necessária. Caso o índice de consistência registre valores acima de 0,10, os resultados podem ser arbitrários e as preferências devem ser reavaliadas ou descartadas.

Uma vez que o modelo hierárquico tenha sido construído, o tomador de decisão providenciará comparações paritárias dos julgamentos por ele determinados para cada nível de hierarquia. A interpretação da equação (12) pode ser obtida pelo Quadro 11.

Os valores recíprocos dessa comparação estão posicionados no lugar a_{ij} de A , de forma a preservar a consistência de julgamentos. Dados n elementos, o tomador de decisão, de fato, compara a importância relativa de um elemento com relação a um outro elemento, usando os nove pontos de escala no Quadro 11. Por exemplo: se o elemento 1 era fortemente preferível ao elemento 2, então ao a_{12} seria dado o *score* 5. Se o contrário for verdadeiro, então a_{12} assumiria um *score* de 1/5. Nesse sentido, a matriz de comparações paritárias seria chamada de matriz recíproca.

A metodologia de análise hierárquica é útil para formular problemas incorporando conhecimentos e julgamentos, de forma que as questões envolvidas sejam claramente articuladas, avaliadas, debatidas e priorizadas. Os julgamentos podem ser apurados por meio de contínua aplicação de um processo de realimentação, sendo conduzido para cada aplicação refinamento das comparações paritárias.

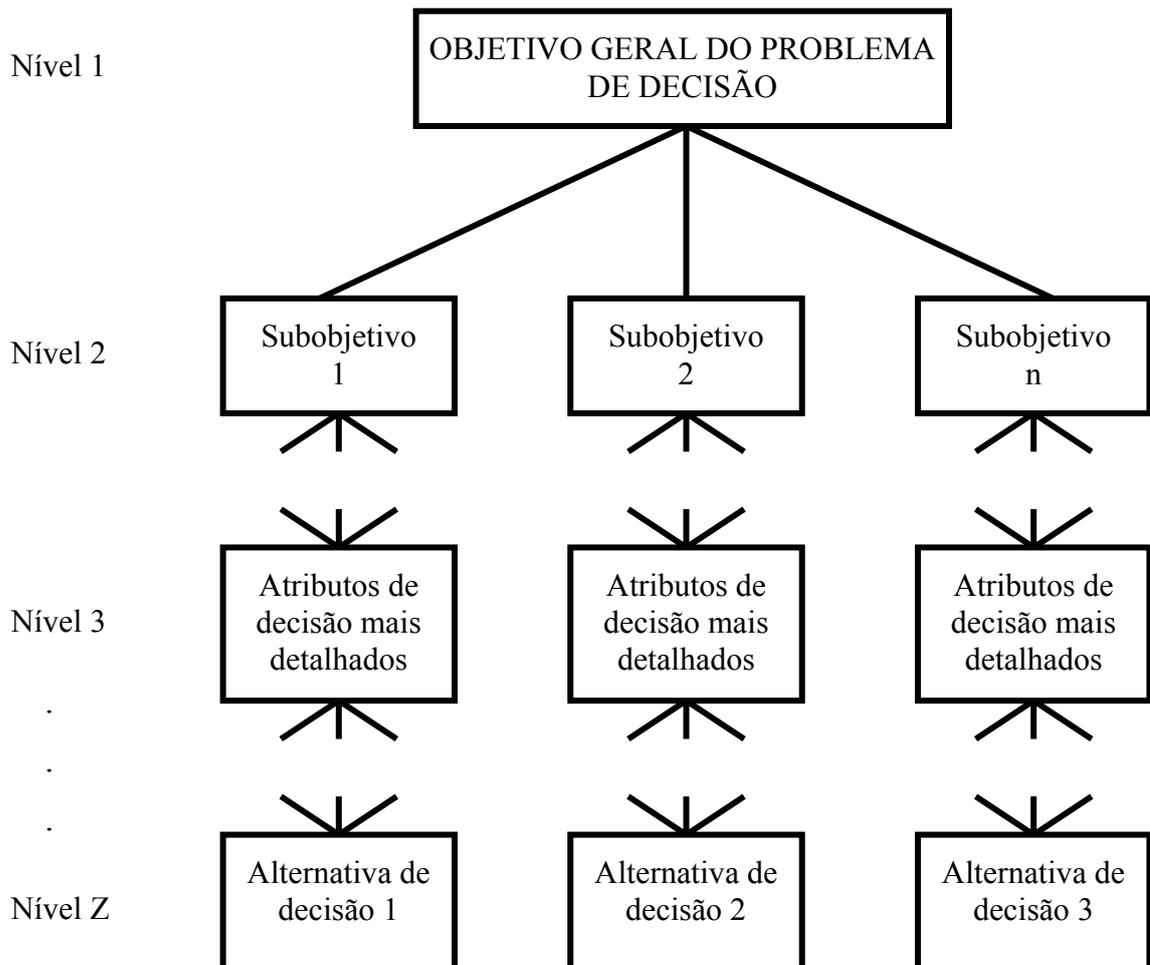
Quadro 11 - Escala de nove pontos para comparação paritária

Intensidade de importância	Definição	Explicação
1	Importância igual	As duas atividades contribuem identicamente para o objetivo.
3	Dominância fraca	Experiências ou julgamentos favorecem levemente uma atividade em relação a outra.
5	Dominância forte	Experiências ou julgamentos favorecem fortemente uma atividade em relação a outra.
7	Dominância demonstrada	A dominância de uma atividade é muito fortemente favorecida em relação a outra; dominação da atividade é demonstrada na prática.
9	Dominância absoluta	A evidência favorece uma atividade em relação a outra com o mais alto grau de certeza.
2, 4, 6, 8	Valores intermediários	Subdivisões posteriores ou compromissos são necessários.
Recíprocos dos valores acima de zero	Se a atividade i recebe uma das designações diferentes acima de zero, quando comparada com a atividade j, então j tem o valor recíproco quando comparada com i.	Uma designação razoável.
Racionais	Razões resultantes da escala	Se a consistência tiver de ser forçada para obter valores numéricos n, para completar a matriz.

47

Fonte: Adaptado de ALPHONCE (1997).

A Figura 9 mostra uma hierarquia com Z níveis em formato-padrão para o MAH. A hierarquia no MAH é construída de modo que fatores no mesmo nível pertençam a uma mesma classe e possam ser relacionados a fatores no próximo nível superior.



Fonte: Adaptado de SAATY (1991).

Figura 9 - Formato-padrão de um modelo hierárquico de Z níveis no MAH.

O nível mais alto em uma hierarquia reflete o objetivo geral ou o foco do problema de decisão, e o nível mais baixo na hierarquia contém as alternativas competitivas através das quais o objetivo final deve ser atendido.

O processo de tomada de decisão sob critérios múltiplos não segue a lógica apresentada no estudo da microeconomia, administração e processos gerenciais, principalmente no que diz respeito à teoria da produção e da firma, ou seja, é assumido que as disponibilidades de escolha e conseqüências são sempre sabidas como certas. No entanto, essa suposição é raramente satisfeita, especialmente quando as decisões são feitas ao longo do tempo.

A suposição mais racional seria de que os consumidores e produtores tivessem alguma idéia do tamanho das possibilidades de resultados e opiniões sobre determinados cenários. Em outras palavras, deve-se trabalhar com probabilidades de ocorrer ou não certo evento. A simulação, nesse sentido, aparece como a técnica com maior aplicação nas ciências administrativas para análise e estudo de sistemas complexos.

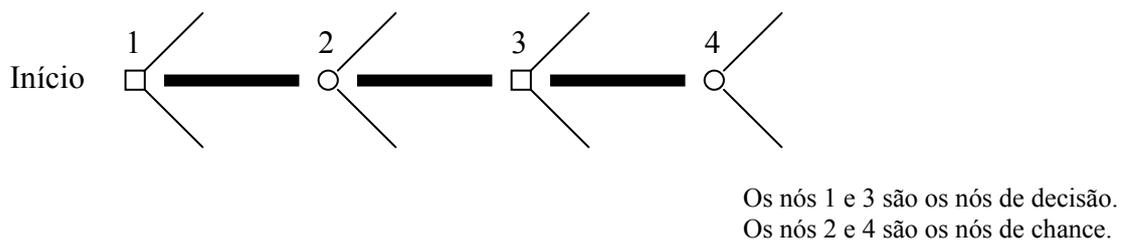
Entretanto, fatores alheios ao controle do produtor agrícola, como, por exemplo, incertezas associadas às condições climáticas e às políticas macroeconômicas e a dificuldade de acesso a novas tecnologias, podem interferir nas atividades agrícolas, dificultando a elaboração e implementação de qualquer plano de trabalho.

Todo empreendimento, em qualquer setor da economia, está sujeito a incertezas ou fatos que podem não ser precisamente quantificáveis nem previstos. Além disso, uma ação ou decisão tomada em dado momento pode afetar, positiva ou negativamente, determinada situação no médio ou longo prazo.

Nessas condições, o tomador de decisão deverá estruturar a anatomia qualitativa do problema, ou seja, deverá determinar uma combinação de várias técnicas e procedimentos baseados em dados empíricos anteriores, alimentados com resultados de vários processos estocásticos e dinâmicos. As opções para

solução do problema, assim como os possíveis resultados, devem ser ordenadamente expostas como ilustra a árvore de decisão na Figura 10⁷.

A árvore de decisão apresenta nós de decisão que estão sob controle do tomador de decisão, nós de chance, e nós que não estão sob pleno controle, nós de chance. Nesse processo, o tomador de decisão determina probabilidades aos ramos que emanam dos nós de chance e valores para as conseqüências associadas aos ramos da árvore.



Fonte: KEENEY e RAIFFA (1993).

Figura 10 - Árvore de decisão.

O risco é derivado de uma situação em que a possível alternativa resultante existe com probabilidade certa. Para melhor interpretação da variável risco, devem-se discutir duas de suas características: risco objetivo; e risco subjetivo.

O risco é objetivo quando um indivíduo, ao jogar uma moeda, já conhece as chances. Mesmo que o resultado seja incerto, o risco objetivo pode ser descrito precisamente baseado em teoria, experimento ou senso comum. A descrição de risco subjetivo pode ser feita ao se refinar a abordagem do problema com mais informações, mais estudos ou por meio de pesos baseados em outras informações.

⁷ A árvore de decisão apresenta nós que estão sob o controle do tomador de decisão, como por exemplo os nós quadrados, e os nós que não estão sob o controle do tomador de decisão, como por exemplo os nós circulares. Os nós são também chamados de nós de decisão.

O risco, segundo DILLON e MESQUITA (1976), é um aspecto importante no processo de tomada de decisão do produtor rural, principalmente do pequeno, o qual é perseguido constantemente pelas adversidades de seu meio. Observa-se que entre esses agricultores as ações se desenvolvem segundo a *teoria bayesiana*, que atribui valores relevantes às preferências pessoais de tomadores de decisões e às suas estimativas de probabilidade.

A falta de habilidade de estimar as probabilidades e as atitudes com relação ao risco leva alguns agricultores a preferir posições mais altas na fronteira risco-renda, por exemplo. Visando conseguir a maximização da utilidade, tomam suas decisões submetendo-se a elevados níveis de risco. Outros, menos hábeis ou menos dispostos a operar sob alto risco, atingem pontos de pouca significação em sua curva de utilidade, preferindo baixos ganhos, mas com relativa segurança.

Observa-se do exposto que, apesar da aparente facilidade de se ater às duas discussões - incerteza e o risco -, as relações existentes entre os dois são complexas e envolventes.

As principais formas que os riscos podem assumir se traduzem em riscos de preços e riscos de rendimentos. Os primeiros surgem, principalmente, devido ao interstício que existe entre o ponto, no tempo, em que o agricultor toma suas decisões de produção e o ponto, no tempo, que obtém o produto. Dessa forma, os preços dos insumos são conhecidos com certeza, enquanto em relação aos preços dos produtos os agricultores têm de formular expectativas a respeito do seu comportamento futuro. Os riscos de rendimentos surgem, principalmente, devido às variações nas condições climáticas e na incidência de pragas e doenças. Deve-se notar, no entanto, que o preço dos produtos agrícolas, em nível de produtor, varia com relativa freqüência entre os anos agrícolas.

Segundo HEADY (1952), os agricultores podem tomar as seguintes medidas de precaução contra as incertezas: reduzir a variabilidade ou dispersão da renda; prevenir a queda da renda abaixo de um nível mínimo; e aumentar a capacidade de enfrentar condições econômicas desfavoráveis. As duas primeiras medidas podem ser consideradas como tentativas de armar-se contra a

variabilidade e a incerteza. A terceira está mais próxima da tentativa de colocar a propriedade rural em condições de enfrentar a incerteza. As medidas de precaução, para diminuir a dispersão ou a possibilidade de que a renda caia abaixo de um nível mínimo estipulado, podem ser introduzidas na escolha de combinações de produtos, combinações insumo-insumo e transformações insumo-produto. Por sua vez, as precauções para aumentar a capacidade de enfrentar condições econômicas desfavoráveis envolvem questões de liquidez, estrutura de capital e escala de produção.

A associação do risco aos resultados esperados em propriedades agrícolas tem sido uma constante preocupação dos pesquisadores e empresários, a fim de que estes possam minimizar a margem de erro em seu planejamento e tomada de decisão.

A análise das situações em que são considerados os riscos tem-se desenvolvido mais no sentido de se poder determinar as dispersões dos dados através de métodos estatísticos de variância e covariância, para depois empregá-los nas soluções dos problemas, por meio de algum modelo de programação. A Programação Quadrática, por exemplo, tem sido considerada por muitos autores como um modelo realista, quando utilizada na agricultura para avaliar a situação de risco⁸.

Segundo TOBIN (1958), os indivíduos se dividem em três tipos: avessos ao risco; indiferentes ao risco; e propensos ao risco. Os indivíduos avessos ao risco são aqueles que, entre duas aplicações de mesmo rendimento médio esperado, preferem a menos arriscada.

A Figura 11 mostra que a curva de utilidade do indivíduo avesso ao risco é côncava, isto é, a utilidade marginal dos ganhos é decrescente.

⁸ Para um estudo mais aprofundado, ver CANDLER e NORTON (1977), MARKOWITZ (1959), HAZZEL (1971), dentre outros.

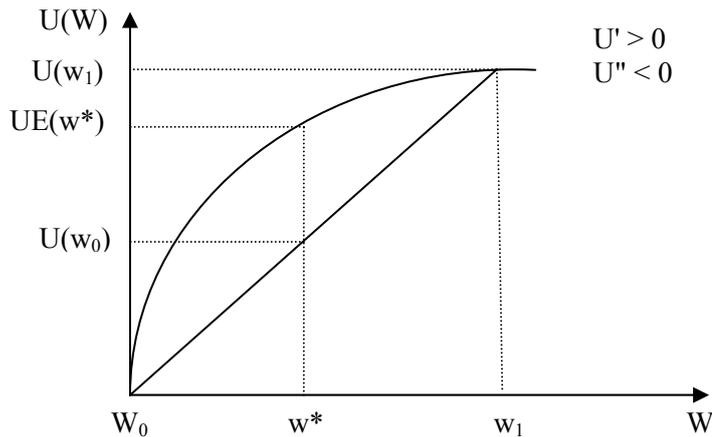


Figura 11 - Representação de um indivíduo avesso ao risco.

A reta que liga a combinação $[U(w_0), w_0]$ a $[U(w_1), w_1]$ se chama combinação convexa. O w^* é o valor esperado, $UE(w^*)$ é a utilidade esperada e $U(w^*)$ é o valor da utilidade esperada. Segundo a teoria de VON NEUMANN e MORGENTERN (1944), os indivíduos escolhem necessariamente alternativas que têm a maior utilidade esperada. Se a função para indivíduo avesso ao risco é côncava, então:

$$U(w^*) > UE(w^*), \text{ em que } UE(w^*) = pU(w_0) + (1-p)U(w_1) \quad (13)$$

As características de um indivíduo avesso ao risco podem ser resumidas em: a) a primeira derivada é positiva e a segunda será negativa; b) o indivíduo se torna extremamente avesso ao risco quando as quantias envolvidas se tornam muito grandes; e c) o indivíduo aplica a maior parte de seus recursos em oportunidades arriscadas quando estas se tornam rentáveis, sem aumento de riscos.

Os indivíduos indiferentes ao risco são aqueles que consideram indiferentes duas aplicações de rendimento médio esperado. A utilidade total dos ganhos é linear. A Figura 12 mostra essa situação.

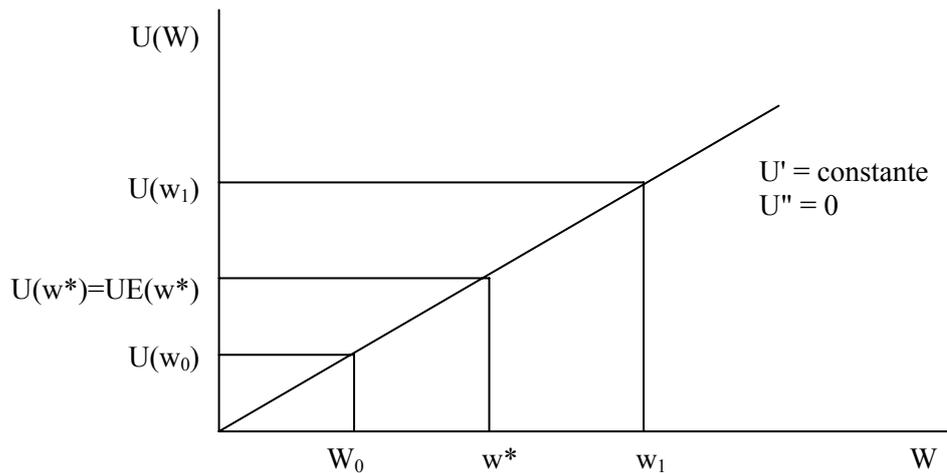


Figura 12 - Representação de um indivíduo indiferente ao risco.

Neste caso, a combinação convexa está sobre a função, ou seja:

$$U(w^*) = UE(w^*), \text{ em que } UE(w^*) = pU(w_0) + (1-p)U(w_1) \quad (14)$$

Conforme SIMONSEN (1966), só para o indivíduo indiferente ao risco vale o procedimento convencional de tratar os valores esperados como as previsões seguras de um mundo em que o futuro seja perfeitamente previsível. Pelo menos para os problemas econômicos relevantes, o tipo normal é avesso ao risco.

Os indivíduos propensos ao risco são aqueles que, entre duas aplicações do mesmo rendimento médio esperado, preferem a mais arriscada. A Figura 13 mostra que a curva de utilidade deste é convexa, isto é, a utilidade marginal é crescente.

Neste caso, a função convexa satisfaz as restrições:

$$U(w^*) < UE(w^*), \text{ em que } UE(w^*) = pU(w_0) + (1-p)U(w_1) \quad (15)$$

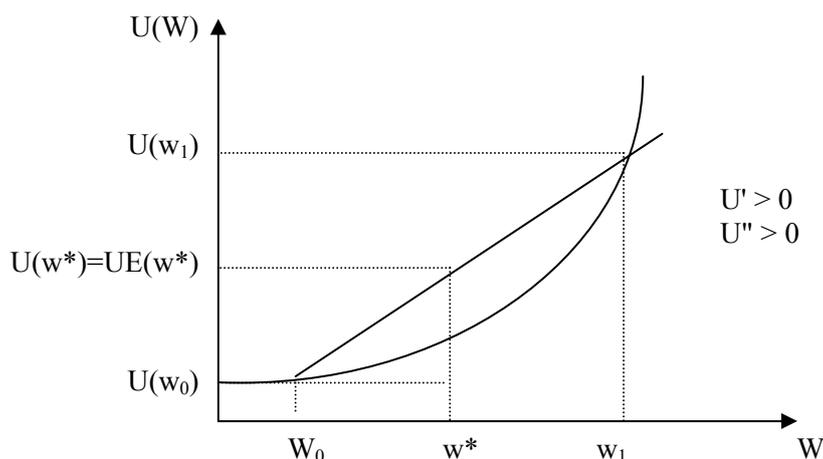


Figura 13 - Representação de um indivíduo propenso ao risco.

2.3. Programação linear com objetivos múltiplos

A programação matemática é o nome dado à família de ferramentas desenvolvidas para auxiliar na resolução de problemas gerais, em que o tomador de decisão deve alocar recursos limitados entre diversas alternativas de modo a atingir metas e objetivos.

Dentro da área de Programação Matemática estão compreendidas a Programação Linear, Programação Não-Linear, Programação Inteira, Programação Dinâmica, Programação com Critérios Múltiplos, entre outras.

O problema de atendimento de vários objetivos conflitantes abordado neste trabalho configura-se como um problema de Programação Linear com Objetivos Múltiplos, uma vez que uma solução ótima para dois ou mais objetivos simultâneos não pode ser definida, ou seja, o método de programação com múltiplos objetivos procura encontrar o conjunto de soluções eficientes não-dominantes ou solução ótima de Pareto.

Antes de prosseguir na apresentação da metodologia para otimização com múltiplos objetivos, é conveniente mostrar as diferenças entre um problema de otimização sob um único objetivo para outros com múltiplos objetivos, uma

vez que o acréscimo de um objetivo na análise certamente altera a solução para o problema.

Para LANZER (1982), um Problema de Programação Linear (PPL) apresenta três características fundamentais: a) existência de um escalar que se busca otimizar e que é uma função linear das incógnitas do problema; b) existência de um sistema de equações lineares que define a viabilidade de qualquer plano potencial às condições específicas estabelecidas no problema; e c) condicionamento de não-negatividade sobre todas as incógnitas do problema (incluindo as variáveis auxiliares)⁹.

Segundo BRADLEY et al. (1977), um modelo de programação linear pode ser expresso como a maximização (ou minimização) de uma função-objetivo (ou critério), sujeita a um dado conjunto de restrições lineares. Especificamente, o problema de programação linear pode ser descrito como sendo a forma de encontrar os valores de n variáveis de decisão, x_1, x_2, \dots, x_n , sendo as componentes do vetor $x \in \mathbb{R}^n$, de forma que se maximize (ou minimize) a função-objetivo $Q(x)$ ¹⁰.

O método Simplex, desenvolvido por DANTZIG (1963), procura, a partir de determinada partição da matriz A , resolver o sistema de equações $Ax = b$, sendo a solução para $x^R = 0$ denominada *solução básica*. Se esta solução atende à restrição $x \geq 0$, ela é denominada *solução básica viável*. Se esta solução minimiza a função-objetivo Q , ela é chamada de *solução ótima* do PPL. O Simplex gera uma seqüência de soluções básicas viáveis na procura da solução ótima ou identifica a sua inexistência, fazendo isso a partir de uma estrutura conveniente, denominada *Quadro Simplex*.

A compreensão de um problema de Programação Linear é importante para se poder compreender o que passa a ser um modelo de programação linear com múltiplos objetivos.

⁹ A rigor, diz-se que uma função é linear se: $f(\alpha x + \beta y) = \alpha f(x) + \beta f(y)$ para α e β reais e x, y pontos do \mathbb{R}^n .

¹⁰ Ver BRADLEY et al. (1977), para uma representação gráfica das soluções de sistemas lineares.

No entanto, apesar da dificuldade de generalizar os modelos para solução de problemas de tomada de decisão sob critérios múltiplos, dada a variedade de técnicas existentes, podem-se definir as duas técnicas mais utilizadas¹¹: Programação de Metas (*Goal Programming*); e Programação com Múltiplos Objetivos.

A Programação de Metas é conhecida como a técnica mais antiga utilizada para o processo de Tomada de Decisão sob Critérios Múltiplos, sendo seu objetivo geral a otimização simultânea de diversas metas¹². Esse método foi, inicialmente, desenvolvido por CHARNES e COOPER (1961) e extensivamente utilizado por LEE (1972). O método procura minimizar os desvios entre os alvos desejados e os valores que são realmente atingidos.

A composição da função-objetivo é geralmente formulada em uma das seguintes formas: a) a satisfação das metas ocorre em ordem seqüencial predeterminada, meta A, seguida da meta B, seguida da meta C (programação de metas lexicográfica)¹³; e b) a satisfação das metas pode ser ponderada, utilizando-se de pesos ou custos relativos aos desvios dos alvos a serem atingidos¹⁴.

Para melhor compreensão do termo *lexicográfico* utilizado neste estudo, KEENEY e RAIFFA (1993) apresentam a seguinte definição:

Considerando $a' > a''$ se somente se:

$$X_1(a') > X_1(a'') \quad (16)$$

ou

$$X_i(a') = X_i(a''), i = 1, 2, \dots, k \text{ e} \quad (17)$$

¹¹ As duas técnicas apresentadas são muito utilizadas tanto para estudos acadêmicos como para planejamento e gerenciamento de empresas rurais e políticas agrícolas.

¹² Os trabalhos apresentados por WHEELER e RUSSEL (1977), FLINN et al. (1980) e BAZARAA e BOUZAHER (1981), entre outros, são algumas aplicações da metodologia de Programação de Metas.

¹³ A Programação Lexicográfica realiza um processo de minimização, através da associação de pesos absolutos ao conjunto de metas situadas em diferentes prioridades. Ver LEE (1972).

¹⁴ As definições de pesos e desvios são apresentadas com maiores detalhes no modelo analítico.

$$X_{k+1}(a') > X_{k+1}(a''), \text{ para algum } k = 1, \dots, n-1. \quad (18)$$

Em outras palavras, assume-se, então, que os avaliadores X_1, \dots, X_n são ordenados de acordo com sua importância relativa. O ação a' é preferível à ação a'' se ao menos um valor for maior para X_1 , independentemente de como este se apresentou por outro avaliador. No caso de ocorrer um empate no X_1 , então o avaliador X_2 é levado em consideração. Caso ocorra um empate em X_1 e X_2 , então o avaliador X_3 será levado em consideração, e assim sucessivamente¹⁵.

Tal formulação pode ser generalizada por meio de permutação do estado dos avaliadores, ou seja, transformar X_3 , por exemplo, o mais importante, segundo de X_1, X_2 , etc.

Outra forma de ordenação lexicográfica apresentada pelos autores é a variante de uma ordenação lexicográfica com níveis de aspiração. Para melhor compreender essa situação, suponha: a) ordenação dos avaliadores por importância e conveniência; b) ordenação natural 1, 2, ..., k; e c) para cada conjunto de avaliador X_i um nível de aspiração x_i^0 é determinado, seguindo a seguinte regra, $a' > a''$, quando:

$$X_1(a') > X_1(a'') \text{ e} \quad (19)$$

$$X_1(a'') < x_1^0, \text{ ou} \quad (20)$$

$$X_1(a') \geq x_1^0; \quad (21)$$

$$X_1(a'') \geq x_1^0; \quad (22)$$

$$X_2(a') > X_2(a''); \text{ e} \quad (23)$$

$$X_2(a'') < x_2^0 \quad (24)$$

Se todas as aspirações forem atendidas, então pode-se abandonar algum X_1 por um grande incremento de X_2 , e assim por diante. Nesse sistema de

¹⁵ Note-se que, se x' e x'' são pontos distintos no espaço de avaliação, eles não podem ser indiferentes na ordenação lexicográfica.

ordenação, dois pontos distintos x' e x'' talvez sejam indiferentes, podendo $x'_j > x_j^0$ e $x''_j > x_j^0$, para todo j .

Segundo BARNETT et al. (1982), o problema de Programação de Metas apresenta um conjunto de restrições que, normalmente, aparece sob a forma de inequações (metas), e não como restrições que devem ser necessariamente atendidas. Os elementos que estão localizados no lado direito das restrições passam a funcionar como alvos, que podem ou não ser atingidos. Nesse caso, para cada meta, duas variáveis são introduzidas para converter a inequação em uma igualdade, sendo estas variáveis conhecidas como variáveis de desvio. A utilização das variáveis de desvio facilita na flexibilidade das restrições.

O Método de Programação Linear com Objetivos Múltiplos (PLOM) é utilizado quando o tomador de decisão, por exemplo, o produtor rural, tiver que tomar decisões em uma situação em que, não necessariamente, existam metas bem definidas (ROMERO e REHMAN, 1989)¹⁶.

O fundamento da solução de problemas de Programação Linear com Objetivos Múltiplos (PLOM) está no conceito de *soluções eficientes ou soluções ótimas de Pareto*; em outras palavras, a PLOM procura distinguir as soluções viáveis que são Pareto ótimas das demais, substituindo-se, assim, o conceito tradicional de ótimo pela idéia de *eficiência ou dominância*¹⁷.

Segundo ROMERO e REHMAN (1989), a PLOM procura abordar problemas de otimização simultânea de vários objetivos, dado um conjunto de restrições, geralmente lineares; em outras palavras, como uma solução ótima é geralmente indefinida para diversos objetivos simultâneos, a PLOM procura identificar aquele conjunto que contém soluções eficientes, não-dominadas ou ótimas, no sentido de Pareto.

¹⁶ O método de programação linear com objetivos múltiplos é também conhecido como abordagem de otimização de vetores. O PLOM endereça estruturas de preferências em que, por alguma razão, não é apropriado especificar metas ou alvos definidos para cada objetivo.

¹⁷ Uma solução eficiente é obtida quando não é possível melhorar o nível de alcance de um objetivo sem reduzir o êxito de um outro objetivo.

Contudo, a PLOM, ao apresentar mais de duas variáveis, causa um problema quanto à obtenção das soluções ótimas: a aplicação dos métodos gráficos tradicionais não pode ser utilizada para a solução do problema.

A solução para esse impasse está na aplicação de abordagens matemáticas que podem ser aplicadas para aproximar o conjunto de soluções viáveis, sendo estas o Método de Ponderação, o Método de Restrição e o Método Simplex para Múltiplos Critérios. Contudo, é apresentada apenas a primeira abordagem, pois é esta que é aplicada para solucionar o problema de otimização proposto ao Projeto de Irrigação do Jaíba. O Método de Ponderação caracteriza-se por tratar gosto e preferência do tomador de decisão *a priori*.

A idéia básica do Método de Ponderação é de combinar todos os objetivos dentro de uma única função-objetivo. A cada função-objetivo é dado um peso antes que todos os objetivos sejam adicionados. Na seqüência, o conjunto eficiente é gerado diretamente da variação paramétrica dos pesos. Assim, no caso de um problema de PLOM com q objetivos para serem maximizados, o método de ponderação tem a seguinte formulação matemática:

$$\text{Eff}(x) = \alpha_1 Z_1(X) + \alpha_2 Z_2(X) + \dots + \alpha_q Z_q(X) \quad (25)$$

sujeito a

$$X \in S; \text{ e } \alpha > 0 \quad (26)$$

em que *Eff* representa a busca pela solução eficiente; α_i é o peso determinado ao i -ésimo objetivo; $X \in S$ é a região viável do espaço de decisão; e Z_i corresponde ao objetivo i do problema.

Por meio das variações paramétricas dos pesos α , o conjunto eficiente pode ser gerado. Deve ser observado que o método de ponderação só é eficiente quando os pesos são maiores do que zero ($\alpha > 0$). Se um dos pesos for zero e se existir alternativa de soluções ótimas, então a solução ótima correspondente pode ser não-dominante ou não-eficiente. Além disso, o método de ponderação pode somente gerar pontos eficientes extremos e não ambos, extremo e interior, como

o faz o método de restrição. Trabalhando com pesos normalizados, como, por exemplo, fazendo $\alpha_1 + \alpha_2 = 1$, e parametrizando seus valores, obtêm-se resultados que revelam a importância ou a preferência do tomador de decisão para cada objetivo.

Contudo, a interpretação utilizando pesos é correta somente se a função de utilidade for admitida como sendo linear e aditiva. Em outras palavras, a função-objetivo corresponde à função de utilidade do tomador de decisões.

O segundo método a ser abordado é o Método de Geração de Soluções Eficientes, o qual trata de gosto e preferência do tomador de decisão *a posteriori*.

A idéia básica do Método de Geração de Soluções Eficientes é otimizar um dos objetivos, enquanto os outros estão sendo especificados como restrições. O conjunto eficiente de soluções é gerado parametrizando-se o lado direito dos objetivos tratados como restrições.

Uma vez que a proposta da PLOM é gerar o conjunto eficiente de soluções, a forma geral pode ser expressa como:

$$\text{Maximizar } Z_k(X) \tag{27}$$

sujeito a

$$X \in F \tag{28}$$

$$Z_j(X) \leq L_j \quad j = 1, 2, \dots, k - 1, k + 1, \dots, n \tag{29}$$

em que Z_k o objetivo a ser otimizado. Por meio de variações paramétricas do lado direito L_j , obtém-se o conjunto de soluções eficientes.

Tendo sido descrito o processo de tomada de decisão sob critérios múltiplos, o método de análise hierárquica e os modelos de programação para otimização sob critérios múltiplos, deve-se ressaltar, apesar de todas as considerações feitas, que não há como classificar um dos métodos como superior a todos os demais. Em outras palavras, a escolha da técnica utilizada depende do tamanho do modelo, das características do problema, da disponibilidade de informações, de *softwares* adequados e, principalmente, do envolvimento do

tomador de decisão, que possui estruturas de valor, habilidades analíticas e outras características peculiares necessárias nesse processo.

3. REFERENCIAL ANALÍTICO

Este tópico está organizado em três seções. A primeira delas é a descrição dos dados e das regiões abordados neste trabalho. Em seguida, discute-se a formulação geral dos modelos de otimização utilizados. Finalmente, a terceira seção apresenta a estrutura hierárquica a ser adotada para cada região abordada neste estudo.

3.1. Dados e regiões de estudo

Para viabilizar os objetivos propostos neste trabalho, a metodologia utilizada constitui no planejamento de propriedades agropecuárias, que permite a modelagem e solução de um problema de alocação de recursos para auxílio à decisão com objetivos múltiplos.

Inicialmente, procurou-se selecionar um grupo de culturas alternativas que fossem representativas diante da produção agrícola nas áreas de colonização do Projeto de Irrigação do Jaíba. Estas culturas representariam então as atividades competitivas entre as quais o tomador de decisão deveria alocar os recursos limitados. As culturas foram selecionadas tomando-se como referência aquelas que geram maior lucratividade para os empresários das glebas C1, C2, C4 e E. Assim, procurou-se selecionar nove culturas, entre as quais cinco são

frutíferas, um é grão e três são hortaliças, ou seja, as culturas selecionadas foram melão, banana, mamão, uva, melancia, cebola, pimentão, abóbora e milho.

Entretanto, as culturas selecionadas para este estudo apresentam características diferenciadas, como culturas de ciclo longo (banana, mamão e uva) e culturas de ciclo curto (melão, melancia, abóbora, cebola, milho e pimentão)¹⁸. Em virtude dessa variação de ciclos e por razões de compatibilidade analítica, optou-se por trabalhar com um ciclo de quatro meses para as culturas e com duas safras ao ano. A importância dos produtos selecionados para o cenário agrícola do Projeto de Irrigação do Jaíba foi apresentada anteriormente na seção 1.1 deste estudo.

O objeto de estudo desta pesquisa foi determinado após vários contatos com agências estaduais e empresários, para se proceder a um levantamento de viabilidade e para obtenção dos dados que se fariam necessários para a formulação dos modelos a serem analisados. Dentre esses contatos, obteve-se apoio positivo da Coordenação Geral do Projeto de Irrigação do Jaíba, da Superintendência de Desenvolvimento do Norte de Minas (SUDENOR), do Distrito de Irrigação do Jaíba, da CODEVASF e de empresários da região. Em virtude disso, optou-se por analisar cinco regiões caracterizadas como áreas de colonização, sendo estas as glebas C3, F, B, D e A. A escolha dessas áreas deve-se ao uso ineficiente dos fatores de produção disponíveis, à questão social inerente ao projeto e à dificuldade que os pequenos irrigantes estão tendo de atingir a melhoria na qualidade de vida esperada.

Para modelagem dos problemas de alocação de recursos, faz-se necessário que se conheçam os coeficientes técnicos de produção associados a cada produto, em função dos recursos a serem estudados. Procedeu-se então a um levantamento dos coeficientes técnicos de produção para as culturas selecionadas em cada uma das cinco regiões. Isso foi feito a partir da solicitação de planilhas de produção às agências estaduais citadas anteriormente.

¹⁸ Entende-se por culturas de ciclo longo aquelas com ciclos acima de um ano e culturas de ciclo curto aquelas com ciclos de três a 12 meses.

3.2. Formulação dos modelos

O passo inicial para a elaboração de um modelo de Programação Linear com Objetivos Múltiplos consiste em selecionar as variáveis de decisão que devem descrever completamente as decisões a serem tomadas. A partir delas será calculado o valor ótimo para a função-objetivo. No estudo em questão, as variáveis de decisão representam o número de hectares a serem cultivados com cada um dos produtos em análise para cada gleba.

A escolha da função-objetivo a ser otimizada é também específica para cada problema em estudo e deve ser descrita como uma função das variáveis de decisão. A maximização da margem bruta é tradicionalmente a função-objetivo mais encontrada em problemas de alocação de recursos. Entretanto, em decisões econômicas modernas não se pode negar o fator risco e o fator danos ambientais como determinantes estratégicos primordiais. Como o presente estudo utiliza o Método de Programação Linear com Objetivos Múltiplos para auxiliar o pequeno irrigante a tomar decisões e a planejar sua produção, surgiu a necessidade de adicionar um quarto fator ao modelo, isto é, um fator social denominado mão-de-obra não-qualificada.

Estabelecida a função-objetivo, parte-se para a elaboração das restrições a serem respeitadas no problema. Optou-se aqui por incluir no modelo as restrições-padrões de recursos que são tradicionalmente utilizadas em problemas econômicos de otimização em programas de irrigação, ou seja, trabalhou-se com os recursos terra, água, mão-de-obra, energia elétrica, maquinário agrícola, agrotóxicos e fertilizantes.

As restrições com relação à terra disponível obedecem aos lotes de cinco hectares descritos anteriormente, de forma que uma versão do modelo seja resolvida para cada lote de área identificada. É importante identificar que, para a formulação dos modelos analisados, foram consideradas as glebas com número de lotes úteis e não o número total de lotes. A área total de produção para cada lote em determinada gleba não deve exceder a área total do número de lotes.

Outra precaução tomada neste estudo é a de evitar uma nova monocultura com o planejamento aqui proposto, ou seja, criaram-se duas restrições, sendo a primeira com o intuito de restringir a produção de cada produto na área total da gleba estudada e a segunda com o objetivo de restringir a produção de um produto em cada unidade produtiva - 30 e 20%, respectivamente¹⁹.

O modelo completo para as etapas deste trabalho, que considera quatro objetivos, pode ser descrito da forma como segue. Inicialmente, o Quadro 12 descreve as variáveis definidas para os modelos formulados.

Quadro 12 - Variáveis definidas para os modelos formulados

Variáveis	Interpretações
i	Lote de cinco hectares de terra ($i \in \{1, 2, 3, \dots, n\}$).
j	Índice de método de irrigação ($j \in \{1, 2\}$), dependendo do tipo de irrigação.
k	Índice que identifica a cultura a ser plantada ($k \in \{\text{banana, melancia, mamão, uva, melão, abóbora, milho, cebola e pimentão}\}$).
X_{ijk}	Quantidade de hectares de terra no lote i , sob o regime de irrigação j , alocada ao cultivo da cultura k .

Fonte: Dados da pesquisa.

O Quadro 13 descreve os parâmetros definidos para os modelos formulados.

¹⁹ Estas restrições são observadas nas equações 38 e 39.

Quadro 13 - Parâmetros definidos para os modelos formulados

Parâmetros	Interpretação
LSAGUA	Limite superior da quantidade de água requerida, em metros cúbicos por segundo por ano, para irrigação.
LIAGUA	Limite inferior da quantidade de água requerida, em metros cúbicos por ano, para irrigação.
AGUA _{ijk}	Quantidade de água requerida por ano pela cultura <i>k</i> , em metros cúbicos por segundo por hectare, para irrigação do tipo <i>j</i> , no lote <i>i</i> .
MB _{ijk}	Margem bruta associada ao plantio de um hectare da cultura <i>k</i> , em reais, no lote <i>i</i> e sob o regime de irrigação <i>j</i> .
RISC _{ijk}	Índice de risco associado ao cultivo de um hectare da cultura <i>k</i> , no lote <i>i</i> , sob o regime de irrigação <i>j</i> .
DA _{ijk}	Índice de dano ambiental associado ao cultivo de um hectare da cultura <i>k</i> , no lote <i>i</i> , sob o regime de irrigação <i>j</i> .
MO	Disponibilidade total de mão-de-obra de baixa qualificação em dias-homem por ano.
MO _{ijk}	Mão-de-obra (horas/homem) de baixa qualificação, por ano, necessária ao plantio de um hectare da cultura <i>k</i> , no lote <i>i</i> , sob o regime de irrigação <i>j</i> .
ENERGIA _k	Disponibilidade total de energia em kwh/ano para irrigação.
ENERGIA _{ijk}	Quantidade de energia requerida por ano, em kwh, para irrigação de um ha da cultura <i>k</i> , no lote <i>i</i> , sob o regime de irrigação <i>j</i> .
AGROTOX _k	Disponibilidade total de agrotóxico por ano em kg.
AGROTOX _{ijk}	Quantidade de agrotóxico por ano requerida por ha da cultura <i>k</i> , no lote <i>i</i> , sob o regime de irrigação <i>j</i> .
FERT	Disponibilidade total de fertilizantes, em kg/ano.
FERT _{ijk}	Quantidade de fertilizantes, em kg/ano, requerida por ha da cultura <i>k</i> , no lote <i>i</i> , sob o regime de irrigação <i>j</i> .
TERRA _i	Disponibilidade total de terra no lote <i>i</i> , em hectares.
MAQ	Disponibilidade total de equipamentos, em horas-máquina por ano.
MAQ _{ijk}	Quantidade de equipamento requerida, em horas-máquina por ano, associada a um ha da cultura <i>k</i> , no lote <i>i</i> , sob regime de irrigação <i>j</i> .

Fonte: Dados da pesquisa.

Definidas as variáveis e os parâmetros adotados nos modelos de PLOM, parte-se para a modelagem de problemas de otimização com múltiplos objetivos aplicados ao Projeto de Irrigação do Jaíba. Optou-se, entre os vários métodos de otimização com objetivos múltiplos apresentados anteriormente, por dois métodos para contribuir na melhoria do processo de tomada de decisão do pequeno irrigante do Projeto Jaíba: o Método de Ponderação e o Método de Geração de Soluções Eficientes. Esses métodos foram escolhidos em razão de serem os mais adequados para o tipo de dados obtidos e em razão do problema estudado. A próxima seção discorre sobre a modelagem dos métodos analisados.

3.2.1. Modelagem pelo método de ponderação

O método de ponderação representado pelas equações (25) e (26) foi aplicado para as cinco glebas de colonos do Projeto de Irrigação do Jaíba, sendo representado pelo modelo a seguir:

$$\text{Eff}(x) = \alpha_1[Z_1(X)] + \alpha_2[Z_2(X)] + \alpha_3[Z_3(X)] + \alpha_4[Z_4(X)] \quad (30)$$

sujeito a

$$\sum_{i,j,k} \text{AGUA}_{i,j,k} X_{i,j,k} \geq \text{LIAGUA} \quad (31)$$

$$\sum_{i,j,k} \text{AGUA}_{i,j,k} X_{i,j,k} \leq \text{LSAGUA} \quad (32)$$

$$\sum_{i,j,k} \text{MO}_{i,j,k} X_{i,j,k} \leq \text{MO} \quad (33)$$

$$\sum_{i,j,k} \text{MAQ}_{i,j,k} X_{i,j,k} \leq \text{MAQ} \quad (34)$$

$$\sum_{i,j,k} \text{FERT}_{i,j,k} X_{i,j,k} \leq \text{FERT} \quad (35)$$

$$\sum_{i,j,k} \text{ENERGIA}_{i,j,k} X_{i,j,k} \leq \text{ENERGIA} \quad (36)$$

$$\sum_{i,j,k} \text{AGROTOX}_{i,j,k} X_{i,j,k} \leq \text{AGROTOX}, \forall i, j, k \quad (37)$$

$$\sum_{i,j,k} \text{LOTE}_i X_{i,j,k} \leq 0,30 \quad (38)$$

$$\sum_{i,j,k} \text{LOTE}_i X_{i,j,k} \leq 0,20 * \text{ÁREA TOTAL} \quad (39)$$

em que *Eff* representa a busca pela solução eficiente; α_i é o peso atribuído ao *i*-ésimo objetivo; $X \in S$ é a região viável do espaço de decisão; $Z_1(X)$ corresponde ao objetivo margem bruta; $Z_2(X)$ corresponde ao objetivo associado ao risco; $Z_3(X)$ corresponde ao objetivo danos ambientais; e $Z_4(X)$ corresponde ao objetivo utilização de mão-de-obra de baixa qualificação.

3.2.2. Modelagem pelo método de geração de soluções eficientes

O Método de Geração de Soluções Eficientes, representado pelas equações (27), (28) e (29), foi aplicado para as cinco glebas de colonos do Projeto de Irrigação do Jaíba, sendo representado pelo modelo a seguir:

$$\text{Eff}(x) = [Z_1(x)] \quad (40)$$

sujeito a

$$Z_2(X) \leq \text{RI}_k \quad (41)$$

$$Z_3(X) \leq \text{DA}_1 \quad (42)$$

$$Z_4(X) \geq \text{MO}_m \quad (43)$$

$$\sum_{i,j,k} \text{AGUA}_{i,j,k} X_{i,j,k} \geq \text{LIAGUA} \quad (44)$$

$$\sum_{i,j,k} \text{AGUA}_{i,j,k} X_{i,j,k} \leq \text{LSAGUA} \quad (45)$$

$$\sum_{i,j,k} \text{MO}_{i,j,k} X_{i,j,k} \leq \text{MO} \quad (46)$$

$$\sum_{i,j,k} \text{MAQ}_{i,j,k} X_{i,j,k} \leq \text{MAQ} \quad (47)$$

$$\sum_{i,j,k} \text{FERT}_{i,j,k} X_{i,j,k} \leq \text{FERT} \quad (48)$$

$$\sum_{i,j,k} \text{ENERGIA}_{i,j,k} X_{i,j,k} \leq \text{ENERGIA} \quad (49)$$

$$\sum_{i,j,k} \text{AGROTOX}_{i,j,k} X_{i,j,k} \leq \text{AGROTOX}, \forall i,j,k \quad (50)$$

$$\sum_{i,j,k} \text{LOTE}_i X_{i,j,k} \leq 0,30 \quad (51)$$

$$\sum_{i,j,k} \text{LOTE}_i X_{i,j,k} \leq 0,20 * \text{ÁREA TOTAL} \quad (52)$$

em que $Z_1(X)$ corresponde ao objetivo margem bruta; $Z_2(X)$ corresponde ao objetivo risco; $Z_3(X)$ corresponde ao objetivo danos ambientais; e $Z_4(X)$ corresponde ao objetivo utilização de mão-de-obra de baixa qualificação.

3.3. O uso do método de análise hierárquica (MAH)

Conforme discutido inicialmente na segunda seção e aprofundado na terceira seção, o método de análise hierárquica (MAH) consiste em se estruturar o problema de decisão na forma de uma hierarquia. Tem-se no primeiro nível o objetivo geral do problema de decisão; no segundo, os subobjetivos; no terceiro, outros fatores ou atributos; e, no Z -ésimo nível, as alternativas de decisão.

Para os modelos em análise neste trabalho, a estrutura hierárquica obedece, para o projeto analisado, o padrão descrito na Figura 14.

Como objetivo geral, selecionou-se a Maximização da Satisfação do Produtor. Os subobjetivos imediatamente inferiores correspondem à Maximização da Margem Bruta, Minimização do Risco, Minimização de Danos Ambientais e Maximização na Utilização da Mão-de-Obra de Baixa Qualificação. O último nível, representando as alternativas de solução, corresponde aos produtos selecionados para análise no Projeto de Irrigação do Jaíba - etapa 1. A decisão consiste em alocar os recursos disponíveis para a produção de uma ou mais dessas culturas, porém considerando simultaneamente dois objetivos selecionados, sendo a Margem Bruta.

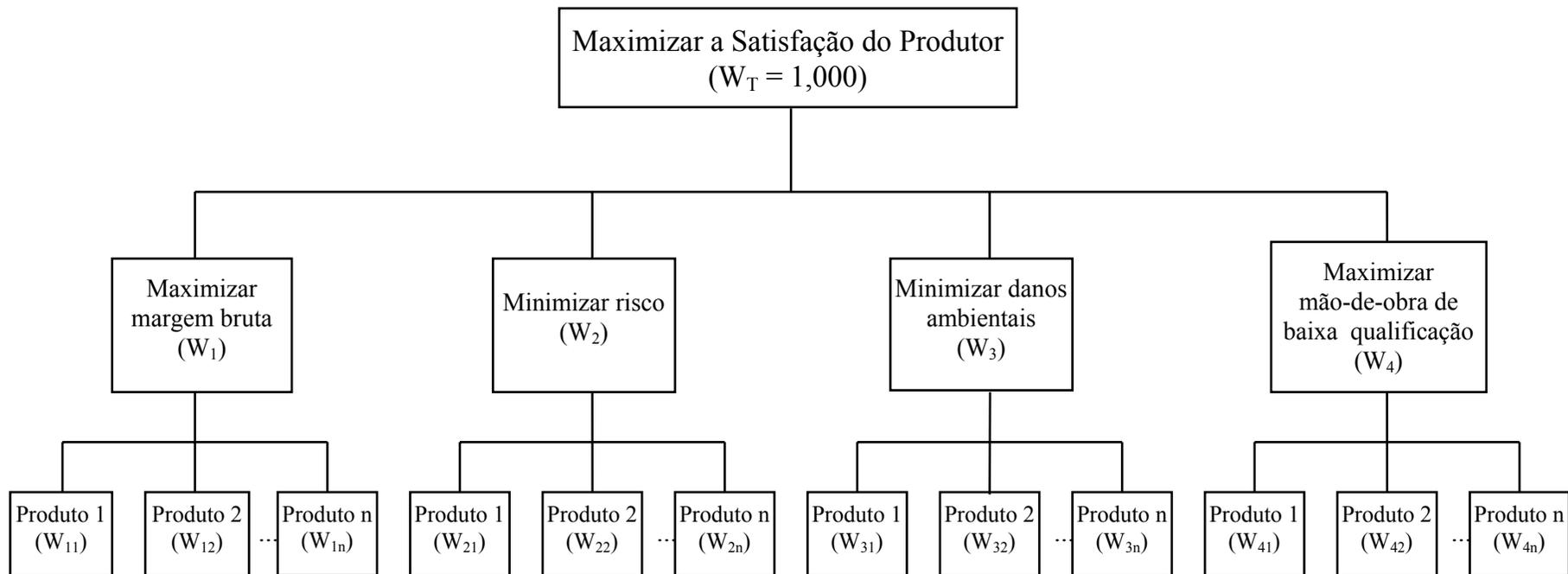


Figura 14 - Descrição geral das hierarquias utilizadas.

Associado ao processo de hierarquização, tem-se que a cada elemento encontra-se um valor referente a seu peso ou sua prioridade (W), que representa o nível de importância ou influência que este elemento exerce em relação aos elementos presentes no nível imediatamente posterior. A quantificação desses níveis de influência se deu por meio de questionários respondidos por cinco especialistas do Projeto de Irrigação do Jaíba, três gerentes de instituições bancárias e dois empresários com lotes no perímetro de irrigação do Jaíba. A partir daí, o MAH calcula os pesos que serão utilizados na elaboração de uma nova função-objetivo, incorporando então a idéia de múltiplos objetivos.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este tópico está subdividido em três seções. Inicialmente, os modelos formulados de acordo com o exposto anteriormente foram resolvidos sob o enfoque de múltiplos critérios utilizando o MAH, em seguida com o método de análise hierárquica e, por fim, mediante a simulação e análise do fator risco. Este último está subdividido em duas seções, sendo o primeiro a geração de soluções ótimas de Pareto utilizando-se o Método de Ponderação e, o segundo, utilizando-se o Método de Soluções Eficientes. Os dois métodos aqui utilizados foram aplicados para simular cenários para as cinco glebas do Projeto de Irrigação do Jaíba. O primeiro método combina todos os k objetivos em uma função composta, depois que pesos apropriados tenham sido associados a cada um deles. A função-objetivo composta resultante é então otimizada e o conjunto de soluções eficiente é obtido através da parametrização dos pesos. Em seguida foi utilizado o segundo método, no qual um dos objetivos é escolhido para ser otimizado, enquanto os $k-1$ objetivos restantes são incluídos como parte do conjunto de restrições do modelo. O conjunto eficiente é então computado por meio de variações paramétricas nos valores do lado direito dos $k-1$ objetivos incluídos como restrições.

4.1. Aplicação do método de análise hierárquica nas glebas de colonização do Projeto de Irrigação do Jaíba

Para este tópico, estabeleceu-se uma estrutura hierárquica para cada um dos produtos considerados, seguindo o padrão descrito anteriormente na Figura 14. Conforme apresentado pela Figura 15, as hierarquias consideradas relacionam em um primeiro nível o objetivo mais geral de maximizar a satisfação do produtor; no segundo nível estão os objetivos de maximização da margem bruta, a minimização do risco, a minimização dos danos ambientais e a maximização da mão-de-obra de baixa qualificação; finalmente, o nível mais baixo apresenta as alternativas de cultivo possíveis para as glebas, de acordo com as culturas selecionadas.

Contudo, para que se pudesse associar a cada elemento desta hierarquia um valor referente ao seu peso, foi necessário, inicialmente, enviar questionários para que *experts* envolvidos com o Projeto de Irrigação do Jaíba pudessem fazer suas avaliações quanto a margem bruta por produtos nas glebas estudadas, nível de risco envolvido no cultivo das atividades, danos ambientais envolvendo a produção das culturas e utilização de mão-de-obra de baixa qualificação no cultivo dos produtos aqui apresentados.

A utilização do programa computacional versão 9.0 para ambiente *Windows Expert Choice Decision Support Software* (1986), desenvolvido por Thomas L. Saaty, da Universidade da Pensilvânia, e Ernest H. Forman, da Universidade de Washington, contribuiu para a modelagem do problema na sua forma hierárquica apresentada pela Figura 15.

A estrutura hierárquica apresentada para a realidade das glebas de colonização do Projeto de Irrigação do Jaíba indica que, entre os quatro objetivos sugeridos, o de maior importância é a minimização do risco, seguido da maximização da margem bruta, maximização do uso de mão-de-obra de baixa qualificação e, por último, minimização dos danos ambientais.

Observa-se pelos resultados que, para o objetivo risco, o cultivo da uva foi o que apresentou o nível de risco mais elevado entre as nove culturas

analisadas, seguido da banana e do melão. As três culturas apresentadas com menores níveis de risco foram o milho, a cebola e o pimentão.

O segundo objetivo, de acordo com a estrutura hierárquica, indica que a cebola é a cultura mais importante em termos de margem bruta, seguida do melão e pimentão. As três culturas que se destacam como menos importantes são o milho, a banana e a abóbora.

O terceiro objetivo indica que a cultura que mais contribui para absorção de mão-de-obra de baixa qualificação é a cebola, seguida de banana, pimentão e uva. As culturas que menos contribuem são melancia, abóbora, milho e melão.

O último objetivo analisado apresenta valores para danos ambientais muito próximos entre as culturas de banana, uva, melancia e mamão, e as que menos provocam danos ambientais são abóbora, milho, cebola e pimentão.

A estrutura hierárquica apresentada para as áreas de colonização do Projeto de Irrigação do Jaíba mostra um perfil avesso ao risco, além de incorporar fatores qualitativos que contribuem para a tomada de decisão.

Estabelecidas todas essas considerações, pode-se agora proceder à análise dos resultados gerados pelos dois métodos de otimização com objetivos múltiplos: o Método de Ponderação e o Método de Geração de Soluções Eficientes. As análises dos resultados para o primeiro método serão discutidas a seguir.

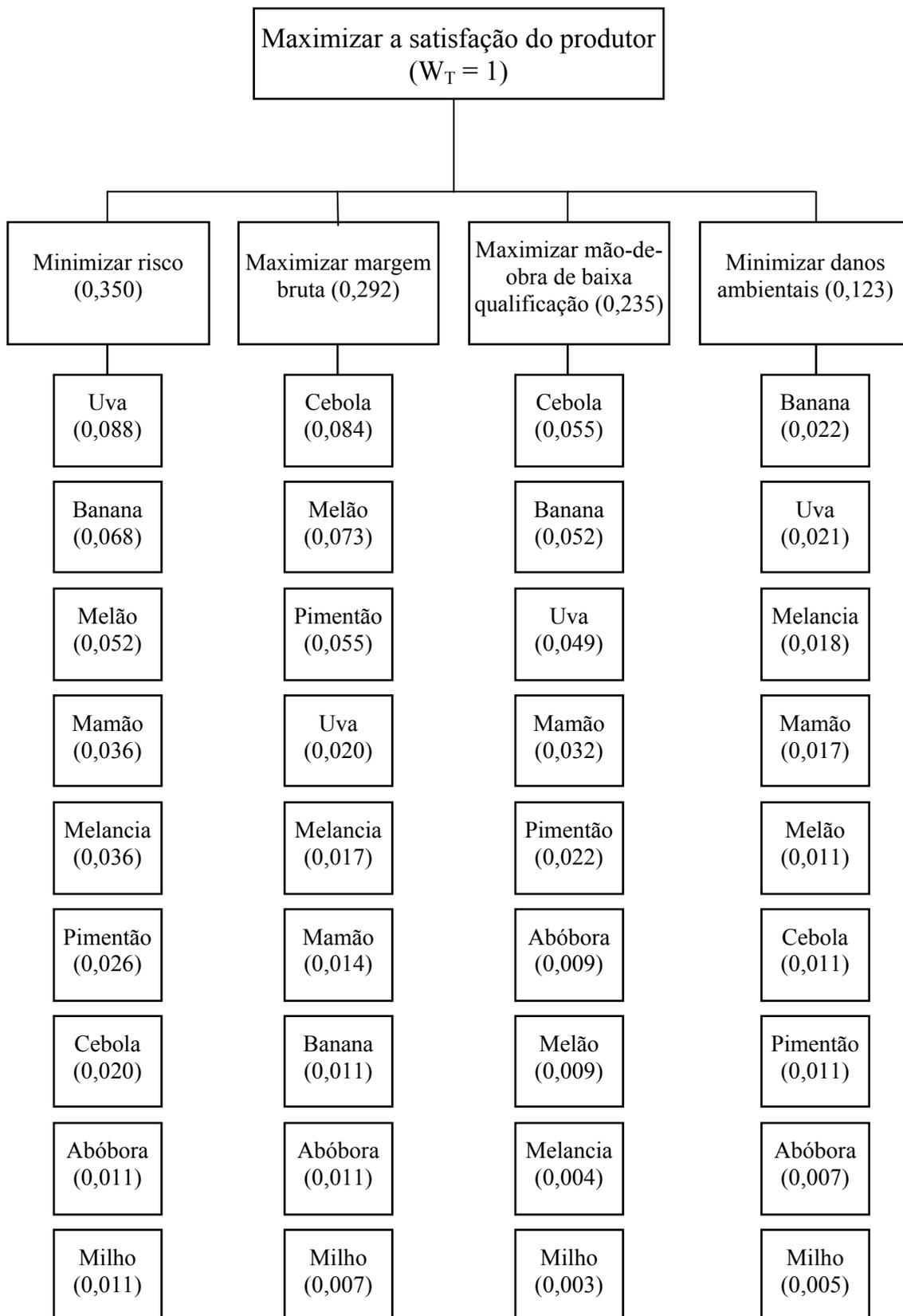


Figura 15 - Estrutura hierárquica e pesos resultantes para as áreas de colonização do Projeto de Irrigação do Jaíba.

4.2. Método de ponderação

Para determinar suas soluções ótimas, os modelos implementados de acordo com o discutido anteriormente foram inicialmente submetidos à versão 3.0 para ambiente *Windows* do programa computacional LINGO, divulgada em maio de 1996 (SCHRAGE, 1991).

A princípio foram resolvidas, para as glebas C3, B, F, A e D, quatro versões para o modelo de alocação de recursos sujeito às restrições de água para irrigação, uso de mão-de-obra, fertilizantes, agrotóxicos, equipamentos agrícolas e energia. A primeira versão corresponde à otimização da função-objetivo com dois objetivos, ou seja, margem bruta e nível de risco. A segunda versão corresponde a margem bruta e danos ambientais. A terceira versão corresponde a margem bruta e utilização de mão-de-obra de baixa qualificação; por fim, analisa-se o modelo completo com todos os objetivos.

Deve-se aqui observar que as soluções geradas S_4 para a primeira versão e S_5 para a segunda e terceira versões representam as soluções utilizando-se as ponderações geradas pelo MAH que se aproximam da realidade do tomador de decisão das áreas de colonização do Jaíba.

Assim como mencionado anteriormente na seção 3.2, restringiu-se, para todas as simulações aqui realizadas, a produção de um produto em cada unidade produtiva e a produção de cada produto em todas as unidades produtivas em 20 e 30%, respectivamente. No entanto, o presente estudo simulou, para a gleba C3, como exemplo, a produção de cada produto em todas as unidades produtivas em 40%, ou seja, procurou-se apresentar diferentes cenários, relaxando a restrição mencionada. Essa situação é apresentada no Apêndice A, indicando diferentes combinações de culturas e margem bruta para os problemas estudados.

Inicialmente, associou-se à função de margem bruta e de risco simulado uma relação de índices que especificassem relações de conflito, ou seja, situações no qual o tomador de decisão opta por ser propenso ao risco, avesso ao risco ou indiferente ao risco.

Nesse sentido, o Quadro 14 mostra os intervalos definidos para os valores de α_1 para a função de margem bruta e α_2 para a função risco, bem como os resultados dessa simulação para a gleba C3.

Observa-se pelas soluções geradas pelo Quadro 14 que, adotando-se um valor para α_1 igual a 0,1 e um valor para α_2 igual a 0,9, obteve-se um valor para a margem bruta nula, recomendando-se assim não plantar nenhuma das culturas expostas. Em outras palavras, se a ponderação for máxima para o risco e menor para a margem bruta, então não será gerada solução ótima de Pareto. No entanto, na medida em que o valor de α_1 vai se elevando e em contrapartida o valor de α_2 vai se reduzindo, a margem bruta vai necessariamente se elevando, assim como as diversas combinações de produtos apresentados pelas soluções geradas S_2 , S_3 e S_4 , S_5 e S_6 .

Os resultados recomendam a produção de cebola, melão e pimentão para os alfas 0,5. Caso o tomador de decisão opte por maximizar a margem bruta, este deverá adotar um $\alpha_1 = 0,9$ e um $\alpha_2 = 0,1$. Nesse sentido, ele maximizará a margem bruta, mas com risco mais elevado. Nesse caso, recomenda-se a produção de cebola, melão, pimentão, mamão e melancia.

O Quadro 15 apresenta com maior clareza o nível de risco associado às soluções geradas no Quadro 14, ou seja, atingindo-se um nível máximo de risco, pode-se atingir a maior margem bruta e o maior valor para a solução ótima, mas com uma taxa de ocupação da gleba abaixo de 100%. Os resultados indicam uma mudança na área ocupada para produção, ou seja, à medida que o risco vai se elevando, a área ocupada para produção irá se elevar também, mas até um certo nível, o qual indica uma inversão na quantidade de hectares a serem plantados.

Quadro 14 - Soluções para duas versões do problema de otimização com dois objetivos, maximização da margem bruta e minimização de risco, para diferentes ponderações, usando o MAH para gleba C3

Soluções*	Cebola (lotes)	Melão (lotes)	Pimentão (lotes)	Banana (lotes)	Mamão (lotes)	Uva (lotes)	Melancia (lotes)	Abóbora (lotes)	Milho (lotes)	Margem bruta total (R\$)	α_1	α_2
S1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0,9
S2	11,4	0	11,4	0	0	0	0	0	0	432.402,00	0,3	0,7
S3	11,4	11,4	11,4	0	0	0	0	0	0	654.417,00	0,5	0,5
S4	11,4	11,4	11,4	0	7,7	0	0	11,4	0	714.460,00	0,65	0,35
S5	11,4	11,4	11,4	0	6,4	0	11,4	5,3	0	744.116,00	0,7	0,3
S6	11,4	11,4	11,4	0	8,8	0	11,4	0	0	744.598,00	0,9	0,1

Fonte: Resultados da pesquisa.

* Multiplicar o número de lotes por 5 para obter a medida em hectares.

Quadro 15 - Níveis de risco associado às soluções geradas para a gleba C3

Soluções*	Número de lotes ocupados	Taxa de ocupação da gleba (%)	Margem bruta total (R\$)	Nível de risco
S ₁	0	0	0	0
S ₂	22,8	40,00	432.402,00	1,5
S ₃	34,2	60,00	654.417,00	3,2
S ₄	53,3	93,44	714.460,00	4,4
S ₅	57,0	100,00	744.116,00	5,2
S ₆	54,4	95,50	744.598,00	5,3

Fonte: Resultados da pesquisa.

* Multiplicar o número de lotes por 5 para obter a medida em hectares.

O Quadro 16 representa simulações em que o tomador de decisão deve decidir entre maximizar a margem bruta ao mesmo tempo em que tem de minimizar os danos ambientais da produção. Isso indica que, ao se determinar uma maior ponderação ao objetivo danos ambientais, a margem bruta gerada será nula, assim como o nível de danos ambientais mostrado pelo Quadro 17. No entanto, à medida que se aumenta a ponderação para o objetivo margem bruta, ao mesmo tempo em que se reduz a ponderação para o objetivo danos ambientais, a margem bruta vai se elevando, assim como a combinação de produtos a serem produzidos.

Para $\alpha_1 = 0,7$ e $\alpha_2 = 0,3$, recomenda-se o plantio de cebola, melão pimentão, uva e abóbora.

Essa situação é melhor visualizada no Quadro 17, onde, a cada incremento no nível de danos ambientais, maior será a margem bruta, assim como a taxa de ocupação da área plantada.

Quadro 16 - Soluções para o problema de otimização com dois objetivos, maximização da margem bruta e minimização de danos ambientais, para diferentes ponderações, usando o MAH para gleba C3

Soluções*	Cebola (lotes)	Melão (lotes)	Pimentão (lotes)	Banana (lotes)	Mamão (lotes)	Uva (lotes)	Melancia (lotes)	Abóbora (lotes)	Milho (lotes)	Margem bruta total (R\$)	α_1	α_2
S ₁	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0,9
S ₂	11,4	11,4	0	0	0	0	0	0	0	482.847,00	0,3	0,7
S ₃	11,4	11,4	11,4	0	0	0	0	0	0	654.417,00	0,5	0,5
S ₄	11,4	11,4	11,4	0	0	4,5	0	11,4	0	705.821,00	0,7	0,3
S ₅	11,4	11,4	11,4	0	6,3	0	11,4	5,1	0	744.116,00	0,877	0,123
S ₆	11,4	11,4	11,4	0	6,3	0	11,4	5,1	0	744.116,00	0,9	0,1

Fonte: Resultados da pesquisa.

* Multiplicar o número de lotes por 5 para obter a medida em hectares.

Quadro 17 - Níveis de danos ambientais associados às soluções geradas para a gleba C3

Soluções*	Número de lotes ocupados	Taxa de ocupação da gleba (%)	Margem bruta total (R\$)	Nível de danos ambientais
S ₁	0	0	0	0
S ₂	22,8	40,00	482.847,00	2,0
S ₃	34,2	60,00	654.417,00	2,9
S ₄	50,0	87,73	705.821,00	4,4
S ₅	57,0	100,00	744.116,00	5,8
S ₆	57,0	100,00	744.116,00	5,8

Fonte: Resultados da pesquisa.

* Multiplicar o número de lotes por 5 para obter a medida em hectares.

O Quadro 18 representa simulações no qual um tomador de decisão deverá decidir entre maximizar a margem bruta ao mesmo tempo em que tem de maximizar o uso de mão-de-obra de baixa qualificação. Isso indica que, ao se determinar uma maior ponderação ao objetivo uso de mão-de-obra de baixa qualificação, ao contrário das situações anteriores, a margem bruta gerada não foi nula, assim como o nível uso de mão-de-obra de baixa qualificação mostrado pelo Quadro 19. No entanto, à medida que se aumenta a ponderação para o objetivo margem bruta, ao mesmo tempo em que se reduz a ponderação para o objetivo uso de mão-de-obra de baixa qualificação, a margem bruta vai se elevando, assim como a combinação de produtos a serem produzidos.

Contudo, observa-se que para qualquer ponderação para a área ocupada, a taxa de ocupação dos lotes foi plenamente atingida e a margem bruta apresentou valores máximos nas soluções S₂ e S₃, declinando logo em seguida nas soluções S₄, S₅ e S₆.

Quadro 18 - Soluções para o problema de otimização com dois objetivos, maximização da margem bruta e maximização da utilização de mão-de-obra de baixa qualificação, para diferentes ponderações, usando o MAH para a gleba C3

Soluções*	Cebola (lotes)	Melão (lotes)	Pimentão (lotes)	Banana (lotes)	Mamão (lotes)	Uva (lotes)	Melancia (lotes)	Abóbora (lotes)	Milho (lotes)	Margem bruta total (R\$)	α_1	α_2
S ₁	11,4	0	11,4	0	11,4	11,4	0	0	0	579.724,00	0,1	0,9
S ₂	11,4	11,4	11,4	0	11,4	11,4	0	0	0	744.930,00	0,3	0,7
S ₃	11,4	11,4	11,4	0	11,4	11,4	0	0	0	744.930,00	0,5	0,5
S ₄	11,4	11,4	11,4	0	11,4	11,4	0	0	0	774.493,00	0,7	0,3
S ₅	11,4	11,4	11,4	0	11,4	11,4	0	0	0	774.493,00	0,765	0,235
S ₆	11,4	11,4	11,4	0	11,4	11,4	0	0	0	774.493,00	0,9	0,1

Fonte: Resultados da pesquisa.

* Multiplicar o número de lotes por 5 para obter a medida em hectares.

Quadro 19 - Níveis de utilização de mão-de-obra associados às soluções geradas para a gleba C3

Soluções*	Número de lotes ocupados	Taxa de ocupação da gleba (%)	Margem bruta total (R\$)	Nível de mão-de-obra
S ₁	57,0	100,00	579.724,00	8,89
S ₂	57,0	100,00	744.930,00	8,20
S ₃	57,0	100,00	744.930,00	8,20
S ₅	57,0	100,00	774.493,00	8,20
S ₆	57,0	100,00	774.493,00	8,20

Fonte: Resultados da pesquisa.

* Multiplicar o número de lotes por 5 para obter a medida em hectares.

Para α_1 variando de 0,3 a 0,9 e α_2 variando de 0,7 a 0,1 recomenda-se o plantio de cebola, melão pimentão, mamão e uva, mas sem efeito no nível de uso de mão-de-obra de baixa qualificação.

Essa situação é mais bem visualizada no Quadro 19, onde o nível de uso de mão-de-obra de baixa qualificação e a taxa de ocupação da área plantada são constantes.

O Quadro 20 mostra a situação em que se otimizam, ao mesmo tempo, quatro objetivos conflitantes: a maximização da margem bruta, a minimização do risco, a minimização do dano ambiental e a maximização do uso da mão-de-obra de baixa qualificação. Os valores para α_1 , α_2 , α_3 e α_4 representam as ponderações para os objetivos citados anteriormente. A solução S₁, dos Quadros 20 e 21, representa os valores obtidos pelo MAH para o processo de tomada de decisão para a gleba C3. As demais soluções são resultados de simulações em que a ponderação mais dominante varia para cada objetivo analisado.

Quadro 20 - Soluções para o problema de otimização com quatro objetivos, para diferentes ponderações, usando o MAH para a gleba C3

Soluções*	Cebola (lotes)	Melão (lotes)	Pimentão (lotes)	Banana (lotes)	Mamão (lotes)	Uva (lotes)	Melancia (lotes)	Abóbora (lotes)	Milho (lotes)	Margem bruta total (R\$)	α_1	α_2	α_3	α_4
S1	11,4	11,4	11,4	0	0	0	0	11,4	0	679.497,00	0,292	0,350	0,123	0,235
S2	11,4	11,4	11,4	0	11,4	0	0	11,4	0	731.515,00	0,350	0,292	0,123	0,235
S3	11,4	11,4	11,4	0	0	0	0	0	0	654.417,00	0,292	0,123	0,350	0,235
S4	11,4	11,4	11,4	0	11,4	11,4	0	0	0	774.493,00	0,292	0,123	0,235	0,350

85

Fonte: Resultados da pesquisa.

* Multiplicar o número de lotes por 5 para obter a medida em hectares.

Quadro 21 - Soluções geradas para o problema de otimização com quatro objetivos, para diferentes ponderações, usando o MAH para a gleba C3

Soluções*	Número de lotes ocupados	Taxa de ocupação da gleba (%)	Margem bruta total (R\$)
S ₁	45,6	80,00	679.497,00
S ₂	57,0	100,00	731.515,00
S ₃	34,2	60,00	654.417,00
S ₄	57,0	100,00	774.493,00

Fonte: Resultados da pesquisa.

* Multiplicar o número de lotes por 5 para obter a medida em hectares.

O Quadro 20 mostra as soluções para um modelo completo para a gleba C3 do Projeto de Irrigação do Jaíba. A solução mais importante para a análise é a S₁, pois combina os interesses dos pequenos irrigantes com a realidade do Projeto Jaíba.

Observa-se pela solução S₁ que, ao se adotar $\alpha_1 = 0,292$, $\alpha_2 = 0,350$, $\alpha_3 = 0,123$ e $\alpha_4 = 0,235$, recomenda-se a produção de cebola, melão, pimentão e abóbora para a gleba C3, atingindo taxa de ocupação da gleba de 80% e margem bruta de R\$ 679.497,00. Contudo, caso o tomador de decisão opte por atingir a maior margem bruta possível, deverá optar por um nível de dano ambiental maior e empregar mais indivíduos por lote. A solução S₄ dos Quadros 20 e 21 mostra taxa de ocupação da gleba em 100%, assim como elevada margem bruta.

Os resultados apresentados a seguir dizem respeito ao conjunto de soluções viáveis obtidas das simulações aplicadas à gleba B. O Quadro 22 mostra o conjunto de soluções para o problema de otimização com dois objetivos, maximização da margem bruta e minimização do risco, para diferentes ponderações, usando o MAH para gleba B.

Quadro 22 - Soluções para o problema de otimização com dois objetivos, maximização da margem bruta e minimização do risco, para diferentes ponderações, usando o MAH para a gleba B

Soluções*	Cebola (lotes)	Melão (lotes)	Pimentão (lotes)	Banana (lotes)	Mamão (lotes)	Uva (lotes)	Melancia (lotes)	Abóbora (lotes)	Milho (lotes)	Margem bruta total (R\$)	α_1	α_2
S ₁	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0,9
S ₂	79,8	0	79,8	0	0	0	0	0	0	3.026.814,00	0,3	0,7
S ₃	79,8	79,8	79,8	0	0	0	0	0	0	4.580.919,00	0,5	0,5
S ₄	79,8	79,8	79,8	0	53,6	0	0	79,8	0	5.001.221,00	0,65	0,35
S ₅	79,8	79,8	79,8	0	43,8	0	79,8	35,9	0	5.208.814,00	0,7	0,3
S ₆	79,8	79,8	79,8	0	61,9	0	79,8	0	0	5.212.192,00	0,9	0,1

Fonte: Resultados da pesquisa.

* Multiplicar o número de lotes por 5 para obter a medida em hectares.

Observa-se pelas soluções mostradas no Quadro 22 que, adotando valor para α_1 igual a 0,1 e um valor para α_2 igual a 0,9, obteve-se valor para a margem bruta nula, recomendando-se assim não plantar nenhuma das culturas expostas. Assim como para a gleba B, se a ponderação for máxima para o risco e menor para a margem bruta, então não é gerada solução ótima de Pareto. No entanto, à medida que o valor de α_1 vai se elevando e em contrapartida o valor de α_2 vai se reduzindo, a margem bruta vai necessariamente se elevando, assim como as diversas combinações de produtos apresentados pelas soluções geradas S₂, S₃, S₄, S₅ e S₆.

Os resultados recomendam a produção de cebola, melão e pimentão para alfas iguais a 0,5. Caso o tomador de decisão opte por maximizar a margem bruta, ele deverá adotar $\alpha_1 = 0,9$ e $\alpha_2 = 0,1$. A margem bruta obtida para a gleba B varia entre R\$ 3.026.814,00 e R\$ 5.212.192,00, e as recomendações para produção seguem a mesma cesta de produtos sugeridos para a gleba C3.

O Quadro 23 apresenta com maior clareza o nível de risco associado às soluções geradas no Quadro 22, ou seja, atingindo-se um nível máximo de risco poder-se-á atingir a maior margem bruta, mas com taxa de ocupação da gleba abaixo de 100%.

Quadro 23 - Níveis de risco associados às soluções geradas para a gleba B

Soluções*	Número de lotes ocupados	Taxa de ocupação da gleba (%)	Margem bruta total (R\$)	Nível de risco
S ₁	0	0	0	0
S ₂	159,6	40,00	3.026.814,00	10,29
S ₃	239,4	60,00	4.580.919,00	22,10
S ₄	372,8	93,44	5.001.221,00	30,79
S ₅	399,0	100,00	5.208.814,00	36,14
S ₆	381,1	95,51	5.212.192,00	36,49

Fonte: Resultados da pesquisa.

* Multiplicar o número de lotes por 5 para obter a medida em hectares.

Os resultados indicam mudança na área ocupada para produção, ou seja, à medida que o risco vai se elevando, a área ocupada para produção irá se elevar também, mas até um certo nível, o qual indica uma inversão na quantidade de hectares a serem plantados. Os valores para as soluções geradas vão apresentando incrementos à medida que o nível de risco vai se elevando.

O Quadro 24 representa simulações em que o tomador de decisão deve decidir entre maximizar a margem bruta ao mesmo tempo em que tem de minimizar os danos ambientais da produção para a gleba B. Ele indica que ao se determinar uma maior ponderação ao objetivo danos ambientais, a margem bruta gerada será nula, assim como o nível de danos ambientais gerado pelo Quadro 25. No entanto, à medida que se aumenta a ponderação para o objetivo margem bruta, ao mesmo tempo em que se reduz a ponderação para o objetivo danos ambientais, a margem bruta vai se elevando, assim como a combinação de produtos a serem produzidos.

Assim como para o caso da gleba C3, $\alpha_1 = 0,7$ e $\alpha_2 = 0,3$, recomendar-se-á o plantio de cebola, melão pimentão, uva e abóbora. Essa situação é mais bem visualizada no Quadro 25, onde a cada incremento no nível de danos ambientais maior será a margem bruta.

Para a realidade obtida para a gleba B, com $\alpha_1 = 0,877$ e $\alpha_2 = 0,123$, tem-se que esta apresenta características idênticas à simulação, em que se penaliza menos o dano ambiental para se atingir maior margem bruta.

Quadro 24 - Soluções para o problema de otimização com dois objetivos, maximização da margem bruta e minimização de danos ambientais, para diferentes ponderações, usando o MAH para a gleba B

Soluções*	Cebola (lotes)	Melão (lotes)	Pimentão (lotes)	Banana (lotes)	Mamão (lotes)	Uva (lotes)	Melancia (lotes)	Abóbora (lotes)	Milho (lotes)	Margem bruta total (R\$)	α_1	α_2
S1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0,9
S2	79,8	79,8	0	0	0	0	0	0	0	3.379.929,00	0,3	0,7
S3	79,8	79,8	79,8	0	0	0	0	0	0	4.580.919,00	0,5	0,5
S4	79,8	79,8	79,8	0	0	30,8	0	79,8	0	4.940.749,00	0,7	0,3
S5	79,8	79,8	79,8	0	43,9	0	79,8	35,9	0	5.208.814,00	0,877	0,123
S6	79,8	79,8	79,8	0	43,9	0	79,8	35,9	0	5.208.814,00	0,9	0,1

Fonte: Resultados da pesquisa.

* Multiplicar o número de lotes por 5 para obter a medida em hectares.

Quadro 25 - Níveis de danos ambientais associados às soluções geradas para a gleba B

Soluções*	Número de lotes ocupados	Taxa de ocupação da gleba (%)	Margem bruta total (R\$)	Nível de danos ambientais
S ₁	0	0	0	0
S ₂	159,6	40,00	3.379.929,00	14,12
S ₃	239,4	60,00	4.580.919,00	20,98
S ₄	350,1	87,73	4.940.749,00	31,08
S ₅	399,0	100,00	5.208.814,00	40,70
S ₆	399,0	100,00	5.208.814,00	40,70

Fonte: Resultados da pesquisa.

* Multiplicar o número de lotes por 5 para obter a medida em hectares.

No caso do Quadro 26, o tomador de decisão deve decidir entre maximizar a margem bruta ao mesmo tempo em que tem de maximizar o uso de mão-de-obra de baixa qualificação.

O mesmo quadro indica que, ao se determinar maior ponderação ao objetivo uso de mão-de-obra de baixa qualificação, ao contrário das situações anteriores, a margem bruta gerada não foi nula, assim como o nível uso de mão-de-obra de baixa qualificação mostrado pelo Quadro 27. No entanto, à medida que se aumenta a ponderação para o objetivo margem bruta, ao mesmo tempo em que se reduz a ponderação para o objetivo uso de mão-de-obra de baixa qualificação, a margem bruta vai se elevando, assim como a combinação de produtos a serem produzidos.

Contudo, observa-se que para qualquer ponderação adotada para a área ocupada, a taxa de ocupação dos lotes foi plenamente atingida e a margem bruta apresentou um máximo constante nas soluções S₂, S₃, S₄, S₅ e S₆.

Quadro 26 - Soluções para o problema de otimização com dois objetivos, maximização da margem bruta e maximização da utilização de mão-de-obra de baixa qualificação, para diferentes ponderações, usando o MAH para a gleba B

Soluções*	Cebola (lotes)	Melão (lotes)	Pimentão (lotes)	Banana (lotes)	Mamão (lotes)	Uva (lotes)	Melancia (lotes)	Abóbora (lotes)	Milho (lotes)	Margem bruta total (R\$)	α_1	α_2
S ₁	79,8	0	79,8	79,8	79,8	79,8	0	0	0	4.058.070,00	0,1	0,9
S ₂	79,8	79,8	79,8	0	79,8	79,8	0	0	0	5.421.453,00	0,3	0,7
S ₃	79,8	79,8	79,8	0	79,8	79,8	0	0	0	5.421.453,00	0,5	0,5
S ₄	79,8	79,8	79,8	0	79,8	79,8	0	0	0	5.421.453,00	0,7	0,3
S ₅	79,8	79,8	79,8	0	79,8	79,8	0	0	0	5.241.453,00	0,765	0,235
S ₆	79,8	79,8	79,8	0	79,8	79,8	0	0	0	5.421.453,00	0,9	0,1

Fonte: Resultados da pesquisa.

* Multiplicar o número de lotes por 5 para obter a medida em hectares.

Quadro 27 - Níveis de utilização de mão-de-obra de baixa qualificação associados às soluções geradas para a gleba B

Soluções*	Número de lotes ocupados	Taxa de ocupação da gleba (%)	Margem bruta total (R\$)	Nível de mão-de-obra
S ₁	399,0	100,00	4.058.070,00	62,23
S ₂	399,0	100,00	5.421.453,00	57,46
S ₃	399,0	100,00	5.421.453,00	57,46
S ₄	399,0	100,00	5.421.453,00	57,46
S ₅	399,0	100,00	5.421.453,00	57,46
S ₆	399,0	100,00	5.421.453,00	57,46

Fonte: Resultados da pesquisa.

* Multiplicar o número de lotes por 5 para obter a medida em hectares.

O Quadro 28 mostra a situação em que se otimizam, ao mesmo tempo, quatro objetivos conflitantes: a maximização da margem bruta, a minimização do risco, a minimização do dano ambiental e a maximização do uso da mão-de-obra de baixa qualificação para a gleba B. Os valores para α_1 , α_2 , α_3 e α_4 representam as ponderações para os objetivos citados anteriormente.

A solução S₁ apresentada nos Quadros 28 e 29 representa os valores obtidos pelo MAH para o processo de tomada de decisão. As demais soluções são resultados de simulações em que a ponderação mais dominante varia para cada objetivo exposto.

A solução mais importante para a análise é a S₁, pois combina os interesses dos pequenos irrigantes com a realidade do Projeto Jaíba.

Observa-se pela solução S₁ que, ao se adotar $\alpha_1 = 0,292$, $\alpha_2 = 0,350$, $\alpha_3 = 0,123$ e $\alpha_4 = 0,235$, recomenda-se a produção de cebola, melão pimentão e abóbora para a gleba B, atingindo uma taxa de ocupação da gleba de 80% e com uma margem bruta de R\$ 4.756.479,00.

Quadro 28 - Soluções para o problema de otimização com quatro objetivos, para diferentes ponderações, usando o MAH para a gleba B

Soluções*	Cebola (lotes)	Melão (lotes)	Pimentão (lotes)	Banana (lotes)	Mamão (lotes)	Uva (lotes)	Melancia (lotes)	Abóbora (lotes)	Milho (lotes)	Margem bruta total (R\$)	α_1	α_2	α_3	α_4
S1	79,8	79,8	79,8	0	0	0	0	79,8	0	4.756.479,00	0,292	0,350	0,123	0,235
S2	79,8	79,8	79,8	0	79,8	0	0	79,8	0	5.120.607,00	0,350	0,292	0,123	0,235
S3	79,8	79,8	79,8	0	0	0	0	0	0	4.580.919,00	0,292	0,123	0,350	0,235
S4	79,8	79,8	79,8	0	79,8	79,8	0	0	0	5.421.453,00	0,292	0,123	0,235	0,350

Fonte: Resultados da pesquisa.

* Multiplicar o número de lotes por 5 para obter a medida em hectares.

Quadro 29 - Soluções geradas para o problema de otimização com quatro objetivos, para diferentes ponderações, usando o MAH para a gleba B

Soluções*	Número de lotes ocupados	Taxa de ocupação da gleba (%)	Margem bruta total (R\$)
S ₁	319,2	80,00	4.756.479,00
S ₂	399,0	100,00	5.120.607,00
S ₃	239,4	60,00	4.580.919,00
S ₄	399,0	100,00	5.421.453,00

Fonte: Resultados da pesquisa.

* Multiplicar o número de lotes por 5 para obter a medida em hectares.

Os Quadros 30 e 31 apresentam as soluções para as simulações geradas para a gleba F. Esses quadros indicam que, adotando um valor para α_1 igual a 0,1 e um valor para α_2 igual a 0,9, obteve-se um valor para a margem bruta nula, recomendando-se assim não plantar nenhuma das culturas consideradas.

Assim como para as glebas anteriores, se a ponderação for máxima para o risco e menor para a margem bruta, então não será gerada solução ótima de Pareto. No entanto, à medida que o valor de α_1 vai se elevando e em contrapartida o valor de α_2 vai se reduzindo, a margem bruta vai necessariamente se elevando, assim como as diversas combinações de produtos apresentados pelas soluções S₂, S₃ e S₄, S₅ e S₆.

Os resultados recomendam a produção de cebola, melão e pimentão para os alfas 0,5. Caso o tomador de decisão opte por maximizar a margem bruta, ele deverá adotar um $\alpha_1 = 0,9$ e um $\alpha_2 = 0,1$. A margem bruta obtida para a gleba F varia entre R\$ 2.473.036,00 e R\$ 4.258.583,00, e as recomendações para produção seguem a mesma cesta de produtos sugeridos para a gleba C3.

O Quadro 31 mostra que, atingindo um nível máximo de risco, poder-se-á atingir a maior margem bruta, mas com taxa de ocupação da gleba abaixo de 100%.

Quadro 30 - Soluções para o problema de otimização com dois objetivos, maximização da margem bruta e minimização do risco, para diferentes ponderações, usando o MAH para a gleba F

Soluções*	Cebola (lotes)	Melão (lotes)	Pimentão (lotes)	Banana (lotes)	Mamão (lotes)	Uva (lotes)	Melancia (lotes)	Abóbora (lotes)	Milho (lotes)	Margem bruta total (R\$)	α_1	α_2
S ₁	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0,9
S ₂	65,2	0	65,2	0	0	0	0	0	0	2.473.036,00	0,3	0,7
S ₃	65,2	65,2	65,2	0	0	0	0	0	0	3.742.806,00	0,5	0,5
S ₄	65,2	65,2	65,2	0	43,8	0	0	65,2	0	4.086.210,00	0,65	0,35
S ₅	65,2	65,2	65,2	0	35,8	0	65,2	29,4	0	4.255.822,00	0,7	0,3
S ₆	65,2	65,2	65,2	0	50,6	0	65,2	0	0	4.258.583,00	0,9	0,1

Fonte: Resultados da pesquisa.

* Multiplicar o número de lotes por 5 para obter a medida em hectares.

Quadro 31 - Níveis de risco associados às soluções geradas para a gleba F

Soluções*	Número de lotes ocupados	Taxa de ocupação da gleba (%)	Margem bruta total (R\$)	Nível de risco
S ₁	0	0	0	0
S ₂	130,4	40,00	2.473.036,00	8,41
S ₃	195,6	60,00	3.742.806,00	18,06
S ₄	304,6	93,44	4.086.210,00	25,15
S ₅	326,0	100,00	4.255.822,00	29,53
S ₆	311,4	95,51	4.258.583,00	29,82

Fonte: Resultados da pesquisa.

* Multiplicar o número de lotes por 5 para obter a medida em hectares.

Os resultados indicam mudanças nas áreas ocupadas para produção, ou seja, à medida que o risco vai se elevando, a área ocupada para produção irá se elevar também, mas até um certo nível, o qual indica uma inversão na quantidade de hectares a serem plantados.

O Quadro 32 representa simulações em que um tomador de decisão deverá decidir entre maximizar a margem bruta ao mesmo tempo em que tem de minimizar os danos ambientais da produção para a gleba F.

Essa situação indica que, ao se determinar uma maior ponderação ao objetivo danos ambientais, a margem bruta gerada será nula, assim como o nível de danos ambientais gerado pelo Quadro 33. No entanto, à medida que se aumenta a ponderação para o objetivo margem bruta, ao mesmo tempo em que se reduz a ponderação para o objetivo danos ambientais, a margem bruta vai se elevando, assim como a combinação de produtos a serem produzidos.

Quadro 32 - Soluções para o problema de otimização com dois objetivos, maximização da margem bruta e minimização dos danos ambientais, para diferentes ponderações, usando o MAH para gleba F

Soluções*	Cebola (lotes)	Melão (lotes)	Pimentão (lotes)	Banana (lotes)	Mamão (lotes)	Uva (lotes)	Melancia (lotes)	Abóbora (lotes)	Milho (lotes)	Margem bruta total (R\$)	α_1	α_2
S ₁	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0,9
S ₂	65,2	65,2	0	0	0	0	0	0	0	2.761.546,00	0,3	0,7
S ₃	65,2	65,2	65,2	0	0	0	0	0	0	3.742.806,00	0,5	0,5
S ₄	65,2	65,2	65,2	0	0	25,2	0	65,2	0	4.036.802,00	0,7	0,3
S ₅	65,2	65,2	65,2	0	35,8	0	65,2	29,4	0	4.255.822,00	0,877	0,123
S ₆	65,2	65,2	65,2	0	35,8	0	65,2	29,4	0	4.255.822,00	0,9	0,1

Fonte: Resultados da pesquisa.

* Multiplicar o número de lotes por 5 para obter a medida em hectares.

Assim como para o caso das glebas apresentadas anteriormente, $\alpha_1 = 0,7$ e $\alpha_2 = 0,3$, recomenda-se o plantio de cebola, melão, pimentão, uva e abóbora; para uma situação de elevado índice de dano ambiental com elevado nível de margem bruta, é recomendada a produção de cebola, melão, pimentão, mamão, melancia e abóbora. O Quadro 33 mostra que, a cada incremento no nível de danos ambientais, maior será a taxa de ocupação da área plantada.

Quadro 33 - Níveis de danos ambientais associados às soluções geradas para a gleba F

Soluções*	Número de lotes ocupados	Taxa de ocupação da gleba (%)	Margem bruta total (R\$)	Nível de danos ambientais
S ₁	0	0	0	0
S ₂	130,4	40,00	2.761.546,00	11,54
S ₃	195,6	60,00	3.742.806,00	17,14
S ₄	286,0	87,73	4.036.802,00	25,39
S ₅	326,0	100,00	4.255.822,00	33,25
S ₆	326,0	100,00	4.255.822,00	33,25

Fonte: Resultados da pesquisa.

* Multiplicar o número de lotes por 5 para obter a medida em hectares.

Segundo o Quadro 34, o tomador de decisão deve decidir entre maximizar a margem bruta ao mesmo tempo em que tem de maximizar o uso de mão-de-obra de baixa qualificação para gleba F.

Esse quadro indica que, ao se determinar maior ponderação ao objetivo uso de mão-de-obra de baixa qualificação, a margem bruta gerada não foi nula, assim como o nível uso de mão-de-obra de baixa qualificação mostrado pelo Quadro 35.

Quadro 34 - Soluções para o problema de otimização com dois objetivos, maximização da margem bruta e maximização da utilização de mão-de-obra de baixa qualificação, para diferentes ponderações, usando o MAH para a gleba F

Soluções*	Cebola (lotes)	Melão (lotes)	Pimentão (lotes)	Banana (lotes)	Mamão (lotes)	Uva (lotes)	Melancia (lotes)	Abóbora (lotes)	Milho (lotes)	Margem bruta total (R\$)	α_1	α_2
S ₁	65,2	0	65,2	65,2	65,2	65,2	0	0	0	3.315.616,00	0,1	0,9
S ₂	65,2	65,2	65,2	0	65,2	65,2	0	0	0	4.429.557,00	0,3	0,7
S ₃	65,2	65,2	65,2	0	65,2	65,2	0	0	0	4.429.557,00	0,5	0,5
S ₄	65,2	65,2	65,2	0	65,2	65,2	0	0	0	4.429.557,00	0,7	0,3
S ₅	65,2	65,2	65,2	0	65,2	65,2	0	0	0	4.429.557,00	0,765	0,235
S ₆	65,20	65,20	65,20	0	65,20	65,2	0	0	0	4.429.557,00	0,9	0,1

Fonte: Resultados da pesquisa.

* Multiplicar o número de lotes por 5 para obter a medida em hectares.

Quadro 35 - Níveis de utilização de mão-de-obra de baixa qualificação associados às soluções geradas para a gleba F

Soluções*	Número de lotes ocupados	Taxa de ocupação da gleba (%)	Margem bruta total (R\$)	Nível de mão-de-obra
S ₁	326,0	100,00	3.315.616,00	50,85
S ₂	326,0	100,00	4.429.557,00	46,94
S ₃	326,0	100,00	4.429.557,00	46,94
S ₄	326,0	100,00	4.429.557,00	46,94
S ₅	326,0	100,00	4.429.557,00	46,94
S ₆	326,0	100,00	4.429.557,00	46,94

Fonte: Resultados da pesquisa.

* Multiplicar o número de lotes por 5 para obter a medida em hectares.

No entanto, à medida que se aumenta a ponderação para o objetivo margem bruta, ao mesmo tempo em que se reduz a ponderação para o objetivo uso de mão-de-obra de baixa qualificação, a margem bruta vai se elevando.

Contudo, observa-se que, para qualquer ponderação adotada, a área ocupada dos lotes foi plenamente atingida e a margem bruta apresentou valor máximo constante nas soluções S₂, S₃, S₄, S₅ e S₆.

O Quadro 36 apresenta a situação em que se otimizam, ao mesmo tempo, quatro objetivos conflitantes: a maximização da margem bruta, a minimização do risco, a minimização do dano ambiental e a maximização do uso da mão-de-obra de baixa qualificação para a gleba F. Os valores para α_1 , α_2 , α_3 e α_4 representam as ponderações para os objetivos citados anteriormente.

A solução S₁ dos Quadros 36 e 37 representa os valores obtidos pelo MAH para o processo de tomada de decisão. As demais soluções são resultados de simulações em que a ponderação mais dominante varia para cada objetivo exposto.

Quadro 36 - Soluções para o problema de otimização com quatro objetivos, para diferentes ponderações, usando o MAH para a gleba F

Soluções*	Cebola (lotes)	Melão (lotes)	Pimentão (lotes)	Banana (lotes)	Mamão (lotes)	Uva (lotes)	Melancia (lotes)	Abóbora (lotes)	Milho (lotes)	Margem bruta total (R\$)	α_1	α_2	α_3	α_4
S1	65,2	65,2	65,2	0	0	0	0	65,2	0	3.886.246,00	0,292	0,350	0,123	0,235
S2	65,2	65,2	65,2	0	65,2	0	0	65,2	0	4.183.753,00	0,350	0,292	0,123	0,235
S3	65,2	65,2	65,2	0	0	0	0	0	0	3.742.806,00	0,292	0,123	0,350	0,235
S4	65,2	65,2	65,2	0	65,2	65,2	0	0	0	4.429.557,00	0,292	0,123	0,235	0,350

102

Fonte: Resultados da pesquisa.

* Multiplicar o número de lotes por 5 para obter a medida em hectares.

De acordo com o Quadro 36, a solução mais importante para a análise é a S_1 , pois combina os interesses dos pequenos irrigantes com a realidade do Projeto Jaíba.

Observa-se pela S_1 que, ao se adotar $\alpha_1 = 0,292$, $\alpha_2 = 0,350$, $\alpha_3 = 0,123$ e $\alpha_4 = 0,235$, recomenda-se a produção de cebola, melão, pimentão e abóbora para a gleba F, atingindo uma taxa de ocupação da gleba de 80% e com margem bruta de R\$ 3.886.246,00.

Quadro 37 - Soluções geradas para o problema de otimização com quatro objetivos, para diferentes ponderações, usando o MAH para a gleba F

Soluções*	Número de lotes ocupados	Taxa de ocupação da gleba (%)	Margem bruta total (R\$)
S_1	260,8	80,00	3.886.246,00
S_2	326,0	100,00	4.183.753,00
S_3	195,6	60,00	3.742.806,00
S_4	326,0	100,00	4.429.557,00

Fonte: Resultados da pesquisa.

* Multiplicar o número de lotes por 5 para obter a medida em hectares.

A gleba seguinte a ser analisada é a gleba A, cujos resultados são mostrados no Quadro 38. Este quadro representa as simulações em que um tomador de decisão deve decidir entre maximizar a margem bruta ao mesmo tempo em tem de minimizar o risco da produção.

Quadro 38 - Soluções para o problema de otimização com dois objetivos, maximização da margem bruta e minimização do risco, para diferentes ponderações, usando o MAH para a gleba A

Soluções*	Cebola (lotes)	Melão (lotes)	Pimentão (lotes)	Banana (lotes)	Mamão (lotes)	Uva (lotes)	Melancia (lotes)	Abóbora (lotes)	Milho (lotes)	Margem bruta total (R\$)	α_1	α_2
S ₁	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0,9
S ₂	169,2	0	169,2	0	0	0	0	0	0	6.417.756,00	0,3	0,7
S ₃	169,2	169,2	169,2	0	0	0	0	0	0	9.712.926,00	0,5	0,5
S ₄	169,2	169,2	169,2	0	113,7	0	0	169,2	0	10.60.409,00	0,65	0,35
S ₅	169,2	169,2	169,2	0	92,9	0	169,20	76,23	0	11.044.250,00	0,7	0,3
S ₆	169,2	169,2	169,2	0	132	0	169,2	0	0	11.051.410,00	0,9	0,1

Fonte: Resultados da pesquisa.

* Multiplicar o número de lotes por 5 para obter a medida em hectares.

O Quadro 38 indica que, ao se determinar uma maior ponderação para o objetivo danos ambientais, a margem bruta gerada será nula, assim como o nível de risco mostrado no Quadro 39. No entanto, à medida que se aumenta a ponderação para o objetivo margem bruta, ao mesmo tempo em que se reduz a ponderação para o objetivo risco, a margem bruta vai se elevando, assim como a combinação de produtos a serem produzidos.

Para o caso de $\alpha_1 = 0,7$ e $\alpha_2 = 0,3$ recomendar-se-á o plantio de cebola, melão, pimentão, mamão, melancia e abóbora.

Essa situação é mais bem visualizada no Quadro 39, onde a cada incremento no nível de risco maior é a margem bruta e a taxa de ocupação da área plantada.

A margem bruta apresentou para a solução S_2 valor de R\$ 6.417.756,00 e, para a solução S_5 , um valor máximo de R\$ 11.051.410,00.

Quadro 39 - Níveis de risco associados às soluções geradas para a gleba A

Soluções*	Número de lotes ocupados	Taxa de ocupação da gleba (%)	Margem bruta total (R\$)	Nível de risco
S_1	0	0	0	0
S_2	338,4	40,00	6.417.756,00	21,82
S_3	507,6	60,00	9.712.926,00	46,86
S_4	790,5	93,44	10.604.090,00	65,29
S_5	846,0	100,00	11.044.250,00	76,64
S_6	808,0	95,51	11.051.410,00	77,38

Fonte: Resultados da pesquisa.

* Multiplicar o número de lotes por 5 para obter a medida em hectares.

O Quadro 40 apresenta simulações em que o tomador de decisão deve decidir entre maximizar a margem bruta ao mesmo tempo em que tem de minimizar os danos ambientais da produção para a gleba A.

Quadro 40 - Soluções para o problema de otimização com dois objetivos, maximização da margem bruta e minimização dos danos ambientais, para diferentes ponderações, usando o MAH para a gleba A

Soluções*	Cebola (lotes)	Melão (lotes)	Pimentão (lotes)	Banana (lotes)	Mamão (lotes)	Uva (lotes)	Melancia (lotes)	Abóbora (lotes)	Milho (lotes)	Margem bruta total (R\$)	α_1	α_2
S1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0,9
S2	169,2	169,2	0	0	0	0	0	0	0	7.166.466,00	0,3	0,7
S3	169,2	169,2	169,2	0	0	0	0	0	0	9.712.926,00	0,5	0,5
S4	169,2	169,2	169,2	0	0	65,4	0	169,2	0	10.475.870,00	0,7	0,3
S5	169,2	169,2	169,2	0	92,9	0	169,2	76,2	0	11.044.250,00	0,877	0,123
S6	169,2	169,2	169,2	0	92,9	0	169,2	76,2	0	11.044.250,00	0,9	0,1

De acordo com o Quadro 40, ao se determinar uma maior ponderação para o objetivo danos ambientais, a margem bruta gerada será nula, assim como o nível de danos ambientais gerado pelo Quadro 41. Observa-se pelos resultados que, à medida que se aumenta a ponderação para o objetivo margem bruta, ao mesmo tempo em que se reduz a ponderação para o objetivo danos ambientais, a margem bruta vai se elevando, assim como a combinação de produtos a serem produzidos.

Para o caso de $\alpha_1 = 0,7$ e $\alpha_2 = 0,3$ recomenda-se, então, o plantio de cebola, melão, pimentão, uva e abóbora. Finalmente, para uma situação de elevado índice de dano ambiental com elevado nível de margem bruta, é recomendada a produção de cebola, melão, pimentão, mamão, melancia e abóbora.

Essa situação é mais bem visualizada no Quadro 41, onde a cada incremento no nível de danos ambientais maior é o valor da taxa de ocupação da área plantada.

Quadro 41 - Níveis de danos ambientais associados às soluções geradas para a gleba A

Soluções*	Número de lotes ocupados	Taxa de ocupação da gleba (%)	Margem bruta total (R\$)	Nível de danos ambientais
S ₁	0	0	0	0
S ₂	338,4	40,00	7.166.466,00	29,94
S ₃	507,6	60,00	9.712.926,00	44,49
S ₄	742,2	87,73	10.475.870,00	65,90
S ₅	846,0	100,00	11.044.250,00	86,30
S ₆	846,0	100,00	11.044.250,00	86,30

Fonte: Resultados da pesquisa.

* Multiplicar o número de lotes por 5 para obter a medida em hectares.

O Quadro 42 apresenta o conjunto de soluções para o problema de otimização com dois objetivos, maximização da margem bruta e maximização do uso de mão-de-obra de baixa qualificação, para diferentes ponderações, usando o MAH para gleba A.

O Quadro 42 indica que, ao se determinar maior ponderação para o objetivo uso de mão-de-obra de baixa qualificação, ao contrário das situações anteriores, a margem bruta gerada não foi nula. No entanto, à medida que se aumenta a ponderação para o objetivo margem bruta, ao mesmo tempo em que se reduz a ponderação para o objetivo uso de mão-de-obra de baixa qualificação, a margem bruta vai se elevando, assim como a combinação de produtos a serem produzidos.

Supondo ponderação para $\alpha_1 = 0,1$ e $\alpha_2 = 0,9$, é recomendada a produção de cebola, pimentão, banana, mamão e uva, e a margem bruta será de R\$ 4.058.070,00. Para a ponderação com $\alpha_1 = 0,5$ e $\alpha_2 = 0,5$, recomenda-se a produção de cebola, melão, pimentão, mamão e uva. Por fim, para uma simulação supondo uma ponderação para $\alpha_1 = 0,9$ e $\alpha_2 = 0,1$ é recomendada a produção de cebola, melão, pimentão, mamão e uva.

Nota-se pelo Quadro 43 que, para todas as simulações apresentadas, a área composta por 846 lotes é plenamente ocupada com as culturas selecionadas por suas respectivas soluções.

O Quadro 44 mostra a situação em que se busca o conjunto de soluções eficientes com quatro objetivos conflitantes: a maximização da margem bruta, a minimização do risco, a minimização do dano ambiental e a maximização do uso da mão-de-obra de baixa qualificação para a gleba A. Os valores para α_1 , α_2 , α_3 e α_4 representam as ponderações para os objetivos citados anteriormente.

Quadro 42 - Soluções para o problema de otimização com dois objetivos, maximização da margem bruta e maximização da utilização de mão-de-obra de baixa qualificação, para diferentes ponderações, usando o MAH para a gleba A

Soluções*	Cebola (lotes)	Melão (lotes)	Pimentão (lotes)	Banana (lotes)	Mamão (lotes)	Uva (lotes)	Melancia (lotes)	Abóbora (lotes)	Milho (lotes)	Margem bruta total (R\$)	α_1	α_2
S ₁	169,2	0	169,2	169,2	169,2	169,2	0	0	0	4.058.070,00	0,1	0,9
S ₂	169,2	169,2	169,2	0	169,2	169,2	0	0	0	5.421.453,00	0,3	0,7
S ₃	169,2	169,2	169,2	0	169,2	169,2	0	0	0	5.421.453,00	0,5	0,5
S ₄	169,2	169,2	169,2	0	169,2	169,2	0	0	0	5.421.453,00	0,7	0,3
S ₅	169,2	169,2	169,2	0	169,2	169,2	0	0	0	11.495.110,00	0,765	0,235
S ₆	169,2	169,2	169,2	0	169,2	169,2	0	0	0	11.495.110,00	0,9	0,1

Fonte: Resultados da pesquisa.

* Multiplicar o número de lotes por 5 para obter a medida em hectares.

Quadro 43 - Níveis de utilização de mão-de-obra associados às soluções geradas para a gleba A

Soluções*	Número de lotes ocupados	Taxa de ocupação da gleba (%)	Margem bruta total (R\$)	Nível de mão-de-obra
S ₁	846,0	100,00	4.058.070,00	62,23
S ₂	846,0	100,00	5.421.453,00	57,46
S ₃	846,0	100,00	5.421.453,00	57,46
S ₄	846,0	100,00	5.421.453,00	57,46
S ₅	846,0	100,00	11.495.110,00	121,83
S ₆	846,0	100,00	11.495.110,00	121,83

Fonte: Resultados da pesquisa.

* Multiplicar o número de lotes por 5 para obter a medida em hectares.

A solução S₁ dos Quadros 44 e 45 representa os valores obtidos pelo MAH para o processo de tomada de decisão. As demais soluções são resultados de simulações em que a ponderação mais dominante varia para cada objetivo exposto.

O Quadro 44 mostra as soluções para um modelo completo para a gleba A do Projeto de Irrigação do Jaíba. A solução mais importante para a análise é a S₁, pois combina os interesses dos pequenos irrigantes com a realidade do Projeto Jaíba.

Observa-se pela S₁ que, ao se adotar $\alpha_1 = 0,292$, $\alpha_2 = 0,350$, $\alpha_3 = 0,123$ e $\alpha_4 = 0,235$, recomenda-se a produção de cebola, melão, pimentão e melancia, atingindo uma taxa de ocupação da gleba de 80%. Nestes níveis alcançou-se a margem bruta de R\$ 10.085.170,00.

O Quadro 45 apresenta dois casos em que a utilização da terra é ótima, ou seja, nos casos em que a ponderação maior for nos objetivos maximização de margem bruta e maximização do uso de mão-de-obra de baixa qualificação.

Quadro 44 - Soluções para o problema de otimização com quatro objetivos para diferentes ponderações, usando o MAH para a gleba A

Soluções*	Cebola (lotes)	Melão (lotes)	Pimentão (lotes)	Banana (lotes)	Mamão (lotes)	Uva (lotes)	Melancia (lotes)	Abóbora (lotes)	Milho (lotes)	Margem bruta total (R\$)	α_1	α_2	α_3	α_4
S1	169,2	169,2	169,2	0	0	0	169,2	0	0	10.085.170,00	0,292	0,350	0,123	0,235
S2	169,2	169,2	169,2	0	169,2	0	0	169,2	0	10.857.230,00	0,350	0,292	0,123	0,235
S3	169,2	169,2	169,2	0	0	0	0	0	0	9.712.926,00	0,292	0,123	0,350	0,235
S4	169,2	169,2	169,2	0	169,2	169,2	0	0	0	11.517.110,00	0,292	0,123	0,235	0,350

111

Fonte: Resultados da pesquisa.

* Multiplicar o número de lotes por 5 para obter a medida em hectares.

Quadro 45 - Soluções geradas para o problema de otimização com quatro objetivos, para diferentes ponderações, usando o MAH para a gleba A

Soluções*	Número de lotes ocupados	Taxa de ocupação da gleba (%)	Margem bruta total (R\$)
S ₁	676,80	80,00	10.085.170,00
S ₂	846,00	100,00	10.857.230,00
S ₃	507,60	60,00	9.712.926,00
S ₄	846,00	100,00	11.517.110,00

Fonte: Resultados da pesquisa.

* Multiplicar o número de lotes por 5 para obter a medida em hectares.

Finalmente, analisa-se a gleba D utilizando o método de ponderação para otimização de problemas com múltiplos objetivos. Os resultados apresentados a seguir dizem respeito ao conjunto de soluções viáveis obtidas das simulações aplicadas à gleba D. O Quadro 46 apresenta o conjunto de soluções para o problema de otimização com dois objetivos, maximização da margem bruta e minimização do risco, para diferentes ponderações, usando o MAH para a gleba D.

O Quadro 46 indica que, ao se determinar maior ponderação ao objetivo risco, a margem bruta gerada será nula. Entretanto, à medida que se aumenta a ponderação para o objetivo margem bruta, ao mesmo tempo em que se reduz a ponderação para o objetivo risco, a margem bruta vai se elevando, assim como a combinação de produtos a serem produzidos. Para o caso de $\alpha_1 = 0,7$ e $\alpha_2 = 0,3$, recomenda-se o plantio de cebola, melão, pimentão, mamão, melancia e abóbora.

Essa situação é mais bem visualizada no Quadro 47, onde a cada incremento no nível de risco maior será a margem bruta e a da área plantada. A margem bruta apresentou para a solução S₂ valor de R\$ 1.524.786,00 e, para S₅, valor máximo de R\$ 2.625.691,00.

Quadro 46 - Soluções para o problema de otimização com dois objetivos, maximização da margem bruta e minimização do risco, para diferentes ponderações, usando o MAH para a gleba D

Soluções*	Cebola (lotes)	Melão (lotes)	Pimentão (lotes)	Banana (lotes)	Mamão (lotes)	Uva (lotes)	Melancia (lotes)	Abóbora (lotes)	Milho (lotes)	Margem bruta total (R\$)	α_1	α_2
S ₁	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0,9
S ₂	40,2	0	40,2	0	0	0	0	0	0	1.524.786,00	0,3	0,7
S ₃	40,2	40,2	40,2	0	0	0	0	0	0	2.307.681,00	0,5	0,5
S ₄	40,2	40,2	40,2	0	27,01	0	0	40,2	0	2.519.412,00	0,65	0,35
S ₅	40,2	40,2	40,2	0	22,1	0	40,2	18,1	0	2.623.989,00	0,7	0,3
S ₆	40,2	40,2	40,2	0	31,2	0	40,2	0	0	2.625.691,00	0,9	0,1

Fonte: Resultados da pesquisa.

* Multiplicar o número de lotes por 5 para obter a medida em hectares.

Quadro 47 - Níveis de risco associados às soluções geradas para a gleba D

Soluções*	Número de lotes ocupados	Taxa de ocupação da gleba (%)	Margem bruta total (R\$)	Nível de risco
S ₁	0	0	0	0
S ₂	80,4	40,00	1.524.786,00	5,18
S ₃	120,6	60,00	2.307.681,00	11,13
S ₄	187,8	93,44	2.519.412,00	15,51
S ₅	201,0	100,00	2.623.989,00	18,20
S ₆	191,9	95,51	2.625.691,00	18,30

Fonte: Resultados da pesquisa.

* Multiplicar o número de lotes por 5 para obter a medida em hectares.

O Quadro 48 indica que, ao se determinar maior ponderação ao objetivo danos ambientais, a margem bruta gerada será nula, assim como o nível de danos ambientais mostrado pelo Quadro 49. No entanto, à medida que se aumenta a ponderação para o objetivo margem bruta, ao mesmo tempo em que se reduz a ponderação para o objetivo danos ambientais, a margem bruta vai se elevando, assim como a combinação de produtos a serem produzidos. Para o caso de $\alpha_1 = 0,7$ e $\alpha_2 = 0,3$ recomenda-se o plantio de cebola, melão, pimentão, uva e abóbora.

O Quadro 49 mostra que, para cada incremento no nível de danos ambientais, maior é a margem bruta, assim como a solução ótima gerada e a ocupação da área plantada. A margem bruta apresentou para a solução S₂ valor de R\$ 1.702.671,00 e, para S₅, valor máximo de R\$ 2.623.989,00.

Quadro 48 - Soluções para o problema de otimização com dois objetivos, maximização da margem bruta e minimização do dano ambiental, para diferentes ponderações, usando o MAH para a gleba D

Soluções*	Cebola (lotes)	Melão (lotes)	Pimentão (lotes)	Banana (lotes)	Mamão (lotes)	Uva (lotes)	Melancia (lotes)	Abóbora (lotes)	Milho (lotes)	Margem bruta total (R\$)	α_1	α_2
S ₁	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0,9
S ₂	40,2	40,2	0	0	0	0	0	0	0	1.702.671,00	0,3	0,7
S ₃	40,2	40,2	40,2	0	0	0	0	0	0	2.307.681,00	0,5	0,5
S ₄	40,2	40,2	40,2	0	0	15,5	0	40,2	0	2.488.949,00	0,7	0,3
S ₅	40,2	40,2	40,2	0	22	0	40,2	18,1	0	2.623.989,00	0,877	0,123
S ₆	40,2	40,2	40,2	0	22	0	40,2	18,1	0	2.623.989,00	0,9	0,1

Fonte: Resultados da pesquisa.

* Multiplicar o número de lotes por 5 para obter a medida em hectares.

Quadro 49 - Níveis de danos ambientais associados às soluções geradas para a gleba D

Soluções*	Número de lotes ocupados	Taxa de ocupação da gleba (%)	Margem bruta total (R\$)	Nível de danos ambientais
S ₁	0	0	0	0
S ₂	80,4	40,00	1.702.671,00	7,11
S ₃	120,6	60,00	2.307.681,00	10,57
S ₄	176,3	87,73	2.488.949,00	15,65
S ₅	201,0	100,00	2.623.989,00	20,50
S ₆	201,0	100,00	2.623.989,00	20,50

Fonte: Resultados da pesquisa.

* Multiplicar o número de lotes por 5 para obter a medida em hectares.

O quadro seguinte apresenta o conjunto de soluções para o problema de otimização com dois objetivos, maximização da margem bruta e maximização do uso de mão-de-obra de baixa qualificação, para diferentes ponderações, usando o MAH para gleba D.

O Quadro 50 indica que, ao se determinar maior ponderação para o objetivo uso de mão-de-obra de baixa qualificação, ao contrário das situações anteriores, gerou-se margem bruta não-nula. No entanto, à medida que se aumenta a ponderação para o objetivo margem bruta, ao mesmo tempo em que se reduz a ponderação para o objetivo uso de mão-de-obra de baixa qualificação, a margem bruta vai se elevando, assim como a combinação de produtos a serem produzidos.

Supondo uma ponderação em que $\alpha_1 = 0,1$ e $\alpha_2 = 0,9$, recomenda-se a produção de cebola, pimentão, banana, mamão e uva, e a margem bruta será de R\$ 2.044.291,00. Para ponderação com $\alpha_1 = 0,5$ e $\alpha_2 = 0,5$ recomenda-se a produção de cebola, melão, pimentão, mamão e uva.

Quadro 50 - Soluções para o problema de otimização com dois objetivos, maximização da margem bruta e maximização da utilização de mão-de-obra de baixa qualificação para diferentes ponderações, usando o MAH para a gleba D

Soluções*	Cebola (lotes)	Melão (lotes)	Pimentão (lotes)	Banana (lotes)	Mamão (lotes)	Uva (lotes)	Melancia (lotes)	Abóbora (lotes)	Milho (lotes)	Margem bruta total (R\$)	α_1	α_2
S ₁	40,2	0	40,2	40,2	40,2	40,2	0	0	0	2.044.291,00	0,1	0,9
S ₂	40,2	40,2	40,2	0	40,2	40,2	0	0	0	2.731.108,00	0,3	0,7
S ₃	40,2	40,2	40,2	0	40,2	40,2	0	0	0	2.731.108,00	0,5	0,5
S ₄	40,2	40,2	40,2	0	40,2	40,2	0	0	0	2.731.108,00	0,7	0,3
S ₅	40,2	40,2	40,2	0	40,2	40,2	0	0	0	2.731.108,00	0,765	0,235
S ₆	40,2	40,2	40,2	0	40,2	40,2	0	0	0	2.731.108,00	0,9	0,1

Fonte: Resultados da pesquisa.

* Multiplicar o número de lotes por 5 para obter a medida em hectares.

Por fim, para uma simulação supondo ponderação para $\alpha_1 = 0,9$ e $\alpha_2 = 0,1$, a solução recomenda a produção de cebola, melão, pimentão, mamão e uva.

O Quadro 51 mostra que, para qualquer simulação, a área ocupada é de 100% e em um nível constante de mão-de-obra utilizado.

Quadro 51 - Níveis de utilização da mão-de-obra associados às soluções geradas para a gleba D

Soluções*	Número de lotes ocupados	Taxa de ocupação da gleba (%)	Margem bruta total (R\$)	Nível de mão-de-obra
S ₁	201,0	100,00	2.044.291,00	31,35
S ₂	201,0	100,00	2.731.108,00	28,94
S ₃	201,0	100,00	2.731.108,00	28,94
S ₄	201,0	100,00	2.731.108,00	28,94
S ₅	201,0	100,00	2.731.108,00	28,94
S ₆	201,0	100,00	2.731.108,00	28,94

Fonte: Resultados da pesquisa.

* Multiplicar o número de lotes por 5 para obter a medida em hectares.

O Quadro 52 mostra a situação em que se otimizam, ao mesmo tempo, quatro objetivos conflitantes: a maximização da margem bruta, a minimização do risco, a minimização do dano ambiental e a maximização do uso da mão-de-obra de baixa qualificação para a gleba D. Os valores para α_1 , α_2 , α_3 e α_4 representam as ponderações para os objetivos citados anteriormente.

A solução S₁ mostrada nos Quadros 52 e 53 representa os valores obtidos pelo MAH para o processo de tomada de decisão. As demais soluções são resultados de simulações em que a ponderação mais dominante varia para cada objetivo analisado.

Quadro 52 - Soluções para o problema de otimização com quatro objetivos, para diferentes ponderações, usando o MAH para a gleba D

Soluções*	Cebola (lotes)	Melão (lotes)	Pimentão (lotes)	Banana (lotes)	Mamão (lotes)	Uva (lotes)	Melancia (lotes)	Abóbora (lotes)	Milho (lotes)	Margem bruta total (R\$)	α_1	α_2	α_3	α_4
S1	40,20	40,20	40,20	0	0	0	0	40,20	0	2.396.121,00	0,292	0,350	0,123	0,235
S2	40,20	40,20	40,20	0	40,20	0	0	40,20	0	2.579.554,00	0,350	0,292	0,123	0,235
S3	40,20	40,20	40,20	0	0	0	0	0	0	2.307.681,00	0,292	0,123	0,350	0,235
S4	40,20	40,20	40,20	0	40,20	40,20	0	0	0	2.731.108,00	0,292	0,123	0,235	0,350

Fonte: Resultados da pesquisa.

* Multiplicar o número de lotes por 5 para obter a medida em hectares.

Observa-se a partir da solução S_1 do Quadro 52 que, ao se adotar $\alpha_1 = 0,292$, $\alpha_2 = 0,350$, $\alpha_3 = 0,123$ e $\alpha_4 = 0,235$, recomenda-se a produção de cebola, melão, pimentão e abóbora e atinge-se uma taxa de ocupação da gleba de 80%. Nestes níveis, alcançou-se a margem bruta de R\$ 2.396.121,00.

Esse quadro apresenta dois casos em que a utilização da terra é ótima, ou seja, nos casos em que a ponderação maior for nos objetivos maximização de margem bruta e maximização do uso de mão-de-obra de baixa qualificação. Deve-se ressaltar que, ao considerar esses dois objetivos, a margem bruta obtida atingirá níveis constantes. Isso se deve ao fato de o lote ser de 5 ha e de o recurso estar sendo plenamente utilizado.

Em síntese, os resultados encontrados para as análises conduzidas permitem concluir que a utilização do Método de Análise Hierárquica associado à noção de otimização sob critérios múltiplos consiste em uma ferramenta viável e importante para o processo de tomada de decisão.

Quadro 53 - Soluções geradas para o problema de otimização com quatro objetivos, para diferentes ponderações, usando o MAH para a gleba D

Soluções*	Número de lotes ocupados	Taxa de ocupação da gleba (%)	Margem bruta total (R\$)
S_1	160,8	80,00	2.396.121,00
S_2	201,0	100,00	2.579.554,00
S_3	120,6	60,00	2.307.681,00
S_4	201,0	100,00	2.731.108,00

Fonte: Resultados da pesquisa.

* Multiplicar o número de lotes por 5 para obter a medida em hectares.

A seção seguinte diz respeito à aplicação do Método de Geração de Soluções Eficientes às áreas de colonização do Projeto de Irrigação do Jaíba. Esse método representa outra forma de atingir as soluções ótimas para um problema com múltiplos objetivos.

4.3. Método da geração de soluções eficientes

Inicialmente, foram feitas, para as glebas C3, B, F, A e D, quatro versões para o modelo de alocação de recursos sujeito às restrições de água para irrigação, uso de mão-de-obra, fertilizantes, agrotóxicos, equipamentos agrícolas e energia. A primeira versão corresponde à otimização da função-objetivo margem bruta, com o objetivo risco compondo o conjunto de restrições. A segunda versão corresponde à otimização do objetivo margem bruta, com o objetivo danos ambientais compondo o conjunto de restrições. A terceira versão corresponde à otimização da margem bruta, com o objetivo utilização de mão-de-obra de baixa qualificação compondo o conjunto de restrições. Por fim, analisa-se o modelo completo com a otimização da margem bruta, com os três objetivos mencionados anteriormente compondo o conjunto de restrições do modelo.

O conjunto de soluções eficientes é obtido por meio de variações paramétricas do lado direito dos objetivos considerados como restrições. As variações paramétricas partiram de valores máximos para valores mínimos.

Nesse sentido, o Quadro 54 mostra os intervalos definidos para os valores de RI_k para a função-objetivo risco, bem como os resultados dessa simulação para a gleba C3.

Observa-se pelas soluções geradas pelo Quadro 54 que, adotando-se o maior nível de risco igual a 5,5, obteve-se a margem bruta mais elevada, que foi de R\$ 744.598,00. Os resultados recomendam a produção de cebola, melão, pimentão, mamão e melancia.

Caso o tomador de decisão opte por um nível intermediário de risco de 3,5, obtém-se uma margem bruta de R\$ 672.778,00, sendo recomendada a produção de cebola, melão, pimentão e abóbora.

Quadro 54 - Soluções eficientes para o problema de otimização com variações no nível de risco para a gleba D

Soluções*	Cebola (lotes)	Melão (lotes)	Pimentão (lotes)	Banana (lotes)	Mamão (lotes)	Uva (lotes)	Melancia (lotes)	Abóbora (lotes)	Milho (lotes)	Margem bruta total (R\$)	RI _k
S ₁	11,4	11,4	11,4	0	8,8	0	11,4	0	0	744.598,00	5,5
S ₂	11,4	11,4	11,4	0	5,8	0	9,8	7,8	0	738.182,00	5,0
S ₃	11,4	11,4	11,4	0	7,0	0	1,6	11,4	0	718.629,00	4,5
S ₄	11,4	11,4	11,4	0	3,7	0	0	11,4	0	696.429,00	4,0
S ₅	11,4	11,4	11,4	0	0	0	0	8,3	0	672.778,00	3,5
S ₆	11,4	10,3	11,4	0	0	0	0	0	0	633.652,00	3,0
S ₇	11,4	6,9	11,4	0	0	0	0	0	0	567.858,00	2,5
S ₈	11,4	3,5	11,4	0	0	0	0	0	0	502.064,00	2,0
S ₉	11,4	0,2	11,4	0	0	0	0	0	0	436.270,00	1,5
S ₁₀	11,4	0	4,9	0	0	0	0	0	0	335.381,00	1,0

Fonte: Resultados da pesquisa.

* Multiplicar o número de lotes por 5 para obter a medida em hectares.

Para a situação em que o tomador de decisão opte por correr o menor risco possível, ou seja, RI_k igual a um, então este maximizará a margem bruta no valor de R\$ 335.381,00. Nesse caso, recomenda-se a produção de cebola e pimentão.

O Quadro 55 indica que com um nível máximo de risco atinge-se a segunda maior taxa de ocupação da gleba, ou seja, 95,51%. Os resultados indicam que, à medida que o risco vai se elevando, a área ocupada para produção irá se elevar também, mas até um certo nível, o qual mostra uma inversão na quantidade de lotes a serem plantados.

Quadro 55 - Variações no nível de risco para a gleba C3

Soluções*	Número de lotes ocupados	Taxa de ocupação da gleba (%)	Margem bruta total (R\$)
S ₁	54,4	95,51	744.598,00
S ₂	57,0	100,00	738.182,00
S ₃	54,2	95,16	718.629,00
S ₄	49,3	86,51	696.429,00
S ₅	42,5	74,64	672.778,00
S ₆	33,1	58,12	633.652,00
S ₇	29,7	52,20	567.858,00
S ₈	26,4	46,27	502.064,00
S ₉	22,9	40,34	436.270,00
S ₁₀	16,4	28,69	335.381,00

Fonte: Resultados da pesquisa.

* Multiplicar o número de lotes por 5 para obter a medida em hectares.

O Quadro 56 mostra os intervalos definidos para os valores de DA_1 para a função-objetivo danos ambientais, bem como os resultados dessa simulação para a gleba C3.

Quadro 56 - Soluções eficientes para o problema de otimização com variações no nível de danos ambientais para a gleba C3

Soluções*	Cebola (lotes)	Melão (lotes)	Pimentão (lotes)	Banana (lotes)	Mamão (lotes)	Uva (lotes)	Melancia (lotes)	Abóbora (lotes)	Milho (lotes)	Margem bruta total (R\$)	DA ₁
S ₁	11,4	11,4	11,4	0	8,8	0	11,4	0	0	744.598,00	6
S ₂	11,4	11,4	11,4	0	0	2,4	10,4	9,8	0	736.552,00	5,5
S ₃	11,4	11,4	11,4	0	0	3,1	5,4	11,4	0	722.188,00	5,0
S ₄	11,4	11,4	11,4	0	0	4,2	0,5	11,4	0	707.558,00	4,5
S ₅	11,4	11,4	11,4	0	0	1,8	0	11,4	0	690.527,00	4,0
S ₆	11,4	11,4	11,4	0	0	0	0	8,3	0	672.816,00	3,5
S ₇	11,4	11,4	11,4	0	0	0	0	0	0	654.483,00	3,0
S ₈	11,4	11,4	5,6	0	0	0	0	0	0	567.232,00	2,5
S ₉	11,4	11,2	0	0	0	0	0	0	0	478.907,00	2,0
S ₁₀	11,4	5,5	0	0	0	0	0	0	0	368.254,00	1,5

Fonte: Resultados da pesquisa.

* Multiplicar o número de lotes por 5 para obter a medida em hectares.

Observa-se pelas soluções geradas pelo Quadro 56 que, adotando-se o maior nível de danos ambientais no valor de 6, obteve-se a margem bruta mais elevada, que é de R\$ 744.598,00. Os resultados, neste nível, recomendam a produção de cebola, melão, pimentão, mamão e melancia.

Caso o tomador de decisão opte por um nível intermediário de danos ambientais de 4, este obtém uma margem bruta de R\$ 690.527,00, sendo recomendada a produção de cebola, melão, pimentão, uva e abóbora.

Para a situação em que o tomador de decisão opte por provocar o menor dano ambiental possível, ou seja, DA_1 igual a um e meio, então este maximizará a margem bruta no valor de R\$ 368.254,00, recomendando-se, nesse caso, a produção de cebola e pimentão.

O Quadro 57 mostra que, quanto maior o dano ambiental, maior a solução ótima e a área ocupada para a produção das culturas selecionadas anteriormente.

Quadro 57 - Variações no nível de danos ambientais para a gleba C3

Soluções*	Número de lotes ocupados	Taxa de ocupação da gleba (%)	Margem bruta total (R\$)
S ₁	54,4	95,51	744.598,00
S ₂	57,0	100,00	736.552,00
S ₃	54,2	95,11	722.188,00
S ₄	50,4	88,51	707.558,00
S ₅	47,4	83,24	690.527,00
S ₆	42,6	74,67	672.816,00
S ₇	34,2	60,05	654.483,00
S ₈	28,4	49,83	567.232,00
S ₉	22,6	39,64	478.907,00
S ₁₀	16,9	29,67	368.254,00

Fonte: Resultados da pesquisa.

* Multiplicar o número de lotes por 5 para obter a medida em hectares.

De acordo com o Quadro 58, adotando-se o nível de utilização de mão-de-obra de baixa qualificação no valor de 8,20, obteve-se a margem bruta mais elevada, que foi de R\$ 774.493,00. Os resultados, nesse nível, recomendam a produção de cebola, melão, pimentão, mamão e uva.

No caso de o planejador agrícola optar por um nível intermediário de utilização de mão-de-obra de 8,50, obtém-se uma margem bruta de R\$ 691.375,00, sendo recomendada a produção de cebola, melão, pimentão, banana, mamão e uva.

Para a situação em que o tomador de decisão opte por utilizar o maior nível de mão-de-obra, ou seja, MO_m igual a 8,99, então obtém-se a margem bruta no valor de R\$ 580.092,00, recomendando-se, nesse caso, a produção de cebola, melão, pimentão, banana, mamão e uva. O Quadro 59 mostra que todas as soluções apresentam ocupação total da área a ser produzida. Deve-se ressaltar que, à medida que se incrementa o uso da mão-de-obra, este vai reduzindo a margem bruta a ser obtida.

Os quadros a seguir apresentam soluções para o problema de otimização com variações paramétricas, com três objetivos compondo o conjunto de restrições para a gleba C3.

A solução S_1 , apresentada no Quadro 60, indica a situação na qual o tomador de decisão escolhe adotar, ao mesmo tempo, os três níveis mais altos para cada objetivo que compõe o conjunto de restrições. Para esse caso, observa-se que a margem bruta foi de R\$ 751.297,00, sendo recomendada a produção de cebola, melão, pimentão, mamão, uva, melancia e abóbora. De acordo com o Quadro 60, nesse nível, a gleba C3 seria plenamente ocupada.

Para a solução S_2 observa-se que os níveis foram tomados como intermediários. Nesse caso, a margem bruta foi de R\$ 672.778,00, sendo recomendada a produção de cebola, melão, pimentão e abóbora. O Quadro 60 mostra que, nesse nível, a gleba C3 seria ocupada em 74,64%.

Quadro 58 - Soluções eficientes para o problema de otimização com variações no nível de utilização de mão-de-obra de baixa qualificação para a gleba C3

Soluções*	Cebola (lotes)	Melão (lotes)	Pimentão (lotes)	Banana (lotes)	Mamão (lotes)	Uva (lotes)	Melancia (lotes)	Abóbora (lotes)	Milho (lotes)	Margem bruta total (R\$)	MO _m
S ₁	11,4	11,4	8,7	0	0	0	0	0	0	774.493,00	8,20
S ₂	11,4	11,4	11,4	1,5	0	0	0	0	0	748.444,00	8,30
S ₃	11,4	11,4	11,4	3,1	0	0	0	0	0	719.910,00	8,40
S ₄	11,4	11,4	11,4	4,86	1,9	0	0	0	0	691.375,00	8,50
S ₅	11,4	11,4	11,4	6,5	5,5	0	0	0	0	662.841,00	8,60
S ₆	11,4	11,4	11,4	8,2	9,6	0	0	0	0	634.307,00	8,70
S ₇	11,4	11,4	11,4	9,9	7,6	3,7	0	0	0	605.773,00	8,80
S ₈	11,4	11,4	11,4	11,3	0,7	10,6	0	0	0	580.092,00	8,99

Fonte: Resultados da pesquisa.

* Multiplicar o número de lotes por 5 para obter a medida em hectares.

Quadro 59 - Variações no nível de utilização de mão-de-obra de baixa qualificação para a gleba C3

Soluções*	Número de lotes ocupados	Taxa de ocupação da gleba (%)	Margem bruta total (R\$)
S ₁	57,0	100,00	774.493,00
S ₂	57,0	100,00	748.444,00
S ₃	57,0	100,00	719.910,00
S ₄	57,0	100,00	691.375,00
S ₅	57,0	100,00	662.841,00
S ₆	57,0	100,00	634.307,00
S ₇	57,0	100,00	605.773,00
S ₈	57,0	100,00	580.092,00

Fonte: Resultados da pesquisa.

* Multiplicar o número de lotes por 5 para obter a medida em hectares.

Finalmente, para a solução S₃ observa-se que os níveis foram tomados como sendo os mais baixos para risco e danos ambientais e o mais alto para utilização de mão-de-obra. Nesse caso, a margem bruta foi de R\$ 335.381,00, sendo recomendada a produção de cebola e pimentão. Segundo o Quadro 60, nesse nível, a gleba C3 seria ocupada em 28,69%.

O Quadro 61 apresenta as soluções eficientes para o problema de otimização com variações paramétricas para a gleba B. Nesse sentido, o Quadro 62 mostra os intervalos definidos para os valores de RI_k para a função-objetivo risco, bem como os resultados dessa simulação para a gleba B.

Observa-se pelas soluções geradas pelo Quadro 62 que, adotando-se o maior nível de risco igual a 36,49, obteve-se a margem bruta mais elevada, que foi de R\$ 5.212.113,00. Os resultados recomendam a produção de cebola, melão, pimentão, mamão, melancia e abóbora.

Quadro 60 - Soluções para o problema de otimização com variações com três objetivos compondo o conjunto de restrições para a gleba C3

Soluções*	Cebola (lotes)	Melão (lotes)	Pimentão (lotes)	Banana (lotes)	Mamão (lotes)	Uva (lotes)	Melancia (lotes)	Abóbora (lotes)	Milho (lotes)	Margem bruta total (R\$)	RI _k	DA ₁	MO _m
S1	11,4	11,4	11,4	0	11,4	1,6	6,3	3,4	0	751.297,00	5,5	6	8,99
S2	11,4	11,4	11,4	0	0	0	0	8,3	0	672.778,00	3,5	3,5	8,50
S3	11,4	0	4,9	0	0	0	0	0	0	335.381,00	1,0	1,5	8,99

Fonte: Resultados da pesquisa.

* Multiplicar o número de lotes por 5 para obter a medida em hectares.

Quadro 61 - Variações com três objetivos compondo o conjunto de restrições para a gleba C3

Soluções*	Número de lotes ocupados	Taxa de ocupação da gleba (%)	Margem bruta total (R\$)
S ₁	57	100,00	751.297,00
S ₂	42,5	74,64	672.778,00
S ₃	16,3	28,69	335.381,00

Fonte: Resultados da pesquisa.

* Multiplicar o número de lotes por 5 para obter a medida em hectares.

Caso o tomador de decisão opte por um nível intermediário de risco de 21,54, este obterá uma margem bruta de R\$ 4.506.625,00, sendo recomendada a produção de cebola, melão e pimentão.

Para a situação em que o tomador de decisão opte por correr o menor risco possível, ou seja, RI_k igual a 10,29, então este maximizará a margem bruta no valor de R\$ 3.025.948,00. Nesse caso, recomenda-se a produção de cebola e pimentão.

O Quadro 63 mostra que as soluções S₁, S₂, e S₃ apresentam taxa de ocupação da gleba acima de 90%. Em contrapartida, a solução S₁₀ apresenta taxa de ocupação de 39,98%.

O Quadro 64 mostra os intervalos definidos para os valores de DA₁ para a função-objetivo danos ambientais, bem como os resultados dessa simulação para a gleba B.

Quadro 62 - Soluções eficientes para o problema de otimização com variações no nível de risco para a gleba B

Soluções*	Cebola (lotes)	Melão (lotes)	Pimentão (lotes)	Banana (lotes)	Mamão (lotes)	Uva (lotes)	Melancia (lotes)	Abóbora (lotes)	Milho (lotes)	Margem bruta total (R\$)	R _k
S ₁	79,8	79,8	79,8	0	61,5	0	79,8	0,84	0	5.212.113,00	36,49
S ₂	79,8	79,8	79,8	0	40,4	0	33,1	79,80	0	5.085.773,00	32,84
S ₃	79,8	79,8	79,8	0	41,3	0	0	79,80	0	4.945.035,00	29,55
S ₄	79,8	79,8	79,8	0	12,1	0	0	79,80	0	4.811.759,00	26,60
S ₅	79,8	79,8	79,8	0	0	0	0	44,76	0	4.679.404,00	23,94
S ₆	79,8	75,9	79,8	0	0	0	0	0	0	4.506.625,00	21,54
S ₇	79,8	61,4	79,8	0	0	0	0	0	0	4.223.711,00	19,39
S ₈	79,8	48,3	79,8	0	0	0	0	0	0	3.968.430,00	17,45
S ₉	79,8	36,5	79,8	0	0	0	0	0	0	3.738.152,00	15,70
S ₁₀	79,8	0	79,4	0	0	0	0	0	0	3.025.948,00	10,29

Fonte: Resultados da pesquisa.

* Multiplicar o número de lotes por 5 para obter a medida em hectares.

Quadro 63 - Variações no nível de risco para a gleba B

Soluções*	Número de lotes ocupados	Taxa de ocupação da gleba (%)	Margem bruta total (R\$)
S ₁	381,5	95,62	5.212.113,00
S ₂	392,7	98,43	5.085.773,00
S ₃	360,5	90,35	4.945.035,00
S ₄	331,3	83,03	4.811.759,00
S ₅	284,1	71,21	4.679.404,00
S ₆	235,5	59,04	4.506.625,00
S ₇	221,0	55,40	4.223.711,00
S ₈	207,9	52,11	3.968.430,00
S ₉	196,1	49,15	3.738.152,00
S ₁₀	159,5	39,98	3.025.948,00

Fonte: Resultados da pesquisa.

* Multiplicar o número de lotes por 5 para obter a medida em hectares.

Quadro 64 - Soluções eficientes para o problema de otimização com variações no nível de danos ambientais para a gleba B

Soluções*	Cebola (lotes)	Melão (lotes)	Pimentão (lotes)	Banana (lotes)	Mamão (lotes)	Uva (lotes)	Melancia (lotes)	Abóbora (lotes)	Milho (lotes)	Margem bruta total (R\$)	DA ₁
S ₁	79,8	79,8	79,8	0	43,7	2,6	79,8	35,9	0	5.208.759,00	40,70
S ₂	79,8	79,8	79,8	0	0	18,4	54,1	79,8	0	5.103.010,00	36,63
S ₃	79,8	79,8	79,8	0	0	26,6	18,3	79,8	0	4.995.629,00	32,96
S ₄	79,8	79,8	79,8	0	0	22,6	0	79,8	0	4.891.658,00	29,67
S ₅	79,8	79,8	79,8	0	0	5,3	0	79,8	0	4.788.571,00	26,70
S ₆	79,8	79,8	79,8	0	0	0	0	50,7	0	4.692.481,00	24,03
S ₇	79,8	79,8	79,8	0	0	0	0	10,5	0	4.604.115,00	21,62
S ₈	79,8	79,8	62,0	0	0	0	0	0	0	4.313.624,00	19,46
S ₉	79,8	79,8	39,4	0	0	0	0	0	0	3.974.124,00	17,52
S ₁₀	79,8	79,8	0	0	0	0	0	0	0	3.378.911,00	14,12

Fonte: Resultados da pesquisa.

* Multiplicar o número de lotes por 5 para obter a medida em hectares.

Observa-se pelas soluções mostradas no Quadro 64 que, adotando-se o maior nível de danos ambientais no valor de 40,70, obteve-se a margem bruta mais elevada, que foi de R\$ 5.208.759,00. Os resultados, nesse nível, recomendam a produção de cebola, melão, pimentão, mamão, uva, melancia e abóbora. Caso o tomador de decisão opte por um nível intermediário de danos ambientais de 24,03, obtém-se uma margem bruta de R\$ 4.692.481,00, sendo recomendada a produção de cebola, melão, pimentão e abóbora.

Para a situação em que o tomador de decisão opte por provocar o menor dano ambiental possível, ou seja, DA_1 igual a 14,12, então este maximizará a margem bruta no valor de R\$ 3.378.911,00, recomendando-se, nesse caso, a produção de cebola e melão.

O Quadro 65 mostra que a solução S_1 apresenta uma taxa de ocupação de 100%, e para a solução S_{10} observa-se uma taxa de ocupação de 39,98%.

Quadro 65 - Variações no nível de danos ambientais para a gleba B

Soluções*	Número de lotes ocupados	Taxa de ocupação da gleba (%)	Margem bruta total (R\$)
S_1	399,0	100,00	5.208.759,00
S_2	391,7	98,18	5.103.010,00
S_3	364,2	91,26	4.995.629,00
S_4	341,8	85,67	4.891.658,00
S_5	324,6	81,34	4.788.571,00
S_6	290,1	72,70	4.692.481,00
S_7	249,9	62,64	4.604.115,00
S_8	221,6	55,54	4.313.624,00
S_9	199,1	49,89	3.974.124,00
S_{10}	159,5	39,98	3.378.911,00

Fonte: Resultados da pesquisa.

* Multiplicar o número de lotes por 5 para obter a medida em hectares.

As soluções eficientes para o problema de otimização com variações paramétricas no nível de utilização de mão-de-obra apresentadas pelo Quadro 66 mostram que, adotando-se qualquer nível de utilização de mão-de-obra de baixa qualificação variando de 24,10 a 62,23, obtém-se o mesmo valor de margem bruta, ou seja, R\$ 5.421.453,00. Os resultados, nesse nível, recomendam a produção de cebola, melão, pimentão, mamão e uva. O Quadro 67 mostra que para todas as simulações a taxa de ocupação é de 100%, assim como a margem bruta.

Os Quadros 68 e 69 apresentam soluções para o problema de otimização com variações paramétricas com três objetivos compondo o conjunto de restrições para a gleba B.

A solução S_1 , apresentada no Quadro 68, indica a situação na qual o tomador de decisão escolheu adotar, ao mesmo tempo, os três níveis mais altos para cada objetivo que compõe o conjunto de restrições. Para esse caso, observa-se que a margem bruta foi de R\$ 5.218.095,00, sendo recomendada a produção de cebola, melão, pimentão, mamão, uva, melancia e abóbora. De acordo com o Quadro 69, nesse nível, a gleba B seria plenamente ocupada.

Para a solução S_2 , observa-se que os níveis foram tomados como intermediários. Nesse caso, a margem bruta foi de R\$ 4.223.711,00, sendo recomendada a produção de cebola, melão e pimentão. O Quadro 69 mostra que, nesse nível, a gleba B seria ocupada em 55,4%.

Finalmente, para a solução S_3 , observa-se que os níveis foram tomados como os mais baixos para risco e danos ambientais e o mais alto para utilização de mão-de-obra. Nesse caso, a margem bruta foi de R\$ 3.025.948,00, sendo recomendada a produção de cebola e pimentão. Segundo o Quadro 69, nesse nível, a gleba B seria ocupada em 39,98%.

Quadro 66 - Soluções eficientes para o problema de otimização com variações para o nível de utilização de mão-de-obra de baixa qualificação para a gleba B

Soluções*	Cebola (lotes)	Melão (lotes)	Pimentão (lotes)	Banana (lotes)	Mamão (lotes)	Uva (lotes)	Melancia (lotes)	Abóbora (lotes)	Milho (lotes)	Margem bruta total (R\$)	MO _k
S ₁	79,8	79,8	62,2	0	79,7	79,8	0	0	0	5.421.453,00	24,10
S ₂	79,8	79,8	79,8	0	79,7	79,8	0	0	0	5.421.453,00	26,78
S ₃	79,8	79,8	79,8	0	79,7	79,8	0	0	0	5.421.453,00	29,76
S ₄	79,8	79,8	79,8	0	79,7	79,8	0	0	0	5.421.453,00	33,07
S ₅	79,8	79,8	79,8	0	79,7	79,8	0	0	0	5.421.453,00	36,74
S ₆	79,8	79,8	79,8	0	79,7	79,8	0	0	0	5.421.453,00	40,82
S ₇	79,8	79,8	79,8	0	79,7	79,8	0	0	0	5.421.453,00	45,36
S ₈	79,8	79,8	79,8	0	79,7	79,8	0	0	0	5.421.453,00	50,40
S ₉	79,8	79,8	79,8	0	79,7	79,8	0	0	0	5.421.453,00	56,00
S ₁₀	79,8	79,8	79,8	0	79,7	79,8	0	0	0	5.421.453,00	62,23

Fonte: Resultados da pesquisa.

* Multiplicar o número de lotes por 5 para obter a medida em hectares.

Quadro 67 - Variações no nível de utilização de mão-de-obra de baixa qualificação para a gleba B

Soluções*	Número de lotes ocupados	Taxa de ocupação da gleba (%)	Margem bruta total (R\$)
S ₁	399,0	100,00	5.421.453,00
S ₂	399,0	100,00	5.421.453,00
S ₃	399,0	100,00	5.421.453,00
S ₄	399,0	100,00	5.421.453,00
S ₅	399,0	100,00	5.421.453,00
S ₆	399,0	100,00	5.421.453,00
S ₇	399,0	100,00	5.421.453,00
S ₈	399,0	100,00	5.421.453,00
S ₉	399,0	100,00	5.421.453,00
S ₁₀	399,0	100,00	5.421.453,00

Fonte: Resultados da pesquisa.

* Multiplicar o número de lotes por 5 para obter a medida em hectares.

Quadro 68 - Soluções para o problema de otimização com variações com três objetivos compondo o conjunto de restrições para a gleba B

Soluções*	Cebola (lotes)	Melão (lotes)	Pimentão (lotes)	Banana (lotes)	Mamão (lotes)	Uva (lotes)	Melancia (lotes)	Abóbora (lotes)	Milho (lotes)	Margem bruta total (R\$)	RI _K	DA _K	MO _K
S ₁	79,8	79,8	79,8	0	79,8	2,9	39,7	37,0	0	5.218.095,00	36,49	40,70	62,23
S ₂	79,8	61,4	79,8	0	0	0	0	0	0	4.223.711,00	19,39	26,70	36,74
S ₃	79,8	0	79,7	0	0	0	0	0	0	3.025.948,00	10,29	14,12	62,23

Fonte: Resultados da pesquisa.

* Multiplicar o número de lotes por 5 para obter a medida em hectares.

Quadro 69 - Variações com três objetivos compondo o conjunto de restrições para a gleba B

Soluções*	Número de lotes ocupados	Taxa de ocupação da gleba (%)	Margem bruta total (R\$)
S ₁	399,0	100,00	5.218.095,00
S ₂	221,1	55,40	4.223.711,00
S ₃	159,5	39,98	3.025.948,00

Fonte: Resultados da pesquisa.

* Multiplicar o número de lotes por 5 para obter a medida em hectares.

O Quadro 70 apresenta as soluções eficientes para o problema de otimização com variações paramétricas para o nível de risco para a gleba F. Nesse caso, observa-se que o maior valor para margem bruta foi obtido com o nível mais alto de risco, e à medida que o tomador de decisão toma posições cautelosas quanto ao risco, este irá se refletir não apenas na redução da margem bruta, mas também na combinação de produtos a serem recomendados.

Para a situação intermediária em que o valor é de 17,60, tem-se uma margem bruta de R\$ 3.682.223,00 e uma combinação de três produtos, ou seja, nesse nível de risco seria recomendada a produção de cebola, melão e pimentão.

Caso o tomador de decisão procure a situação extrema de correr o menor risco, então ele obterá a menor margem bruta, seguida da menor cesta de opções para produção. Isso é observado por meio do Quadro 71, uma vez que, com o menor risco, a taxa de ocupação dos lotes será de apenas 39,99%.

O Quadro 71 mostra os intervalos definidos para os valores de DA_1 para a função-objetivo danos ambientais, bem como os resultados dessa simulação para a gleba F.

Quadro 70 - Soluções eficientes para o problema de otimização com variações no nível de risco para a gleba F

Soluções*	Cebola (lotes)	Melão (lotes)	Pimentão (lotes)	Banana (lotes)	Mamão (lotes)	Uva (lotes)	Melancia (lotes)	Abóbora (lotes)	Milho (lotes)	Margem bruta total (R\$)	RI _k
S ₁	65,2	65,2	65,2	0	50,6	0	65,2	6,4	0	4.258.577,00	29,82
S ₂	65,2	65,2	65,2	0	33,0	0	27,0	65,2	0	4.155.224,00	26,83
S ₃	65,2	65,2	65,2	0	33,8	0	0	65,2	0	4.040.593,00	24,15
S ₄	65,2	65,2	65,2	0	9,8	0	0	65,2	0	3.931.261,00	21,73
S ₅	65,2	65,2	65,2	0	0	0	0	36,6	0	3.823.272,00	19,56
S ₆	65,2	65,2	65,2	0	0	0	0	0	0	3.682.223,00	17,60
S ₇	65,2	50,2	65,2	0	0	0	0	0	0	3.450.628,00	15,84
S ₈	65,2	39,5	65,2	0	0	0	0	0	0	3.242.720,00	14,25
S ₉	65,2	29,8	65,2	0	0	0	0	0	0	3.054.549,00	12,83
S ₁₀	65,2	0	65,2	0	0	0	0	0	0	2.472.871,00	8,41

Fonte: Resultados da pesquisa.

* Multiplicar o número de lotes por 5 para obter a medida em hectares.

Quadro 71 - Variações no nível de risco para a gleba F

Soluções*	Número de lotes ocupados	Taxa de ocupação da gleba (%)	Margem bruta total (R\$)
S ₁	311,4	95,52	4.258.577,00
S ₂	320,9	98,43	4.155.224,00
S ₃	294,6	90,37	4.040.593,00
S ₄	270,6	83,02	3.931.261,00
S ₅	232,2	71,21	3.823.272,00
S ₆	192,5	59,04	3.682.223,00
S ₇	180,6	55,39	3.450.628,00
S ₈	169,9	52,12	3.242.720,00
S ₉	160,2	49,15	3.054.549,00
S ₁₀	130,4	39,99	2.472.871,00

Fonte: Resultados da pesquisa.

* Multiplicar o número de lotes por 5 para obter a medida em hectares.

Observa-se pelas soluções geradas pelo Quadro 72 que, adotando-se o maior nível de danos ambientais no valor de 33,25, obteve-se a margem bruta mais elevada, que foi de R\$ 4.255.695,00. Os resultados, nesse nível, recomendam a produção de cebola, melão, pimentão, mamão, uva, melancia e abóbora.

Supondo uma situação em que se opte por um nível intermediário de danos ambientais de 21,81, obtém-se uma margem bruta de R\$ 3.912.292,00, sendo recomendada a produção de cebola, melão, pimentão, milho e uva.

Para a situação em que o tomador de decisão opte por provocar o menor dano ambiental possível, ou seja, DA₁ igual a 11,54, então obtém-se a margem bruta no valor de R\$ 2.761.457,00, recomendando-se, nesse caso, a produção de cebola e melão.

Quadro 72 - Soluções eficientes para o problema de otimização com variações no nível de danos ambientais para a gleba F

Soluções*	Cebola (lotes)	Melão (lotes)	Pimentão (lotes)	Banana (lotes)	Mamão (lotes)	Uva (lotes)	Melancia (lotes)	Abóbora (lotes)	Milho (lotes)	Margem bruta total (R\$)	DA ₁
S ₁	65,2	65,2	65,2	0	35,67	6,1	65,2	29,5	0	4.255.695,00	33,25
S ₂	65,2	65,2	65,2	0	0	15,1	44,1	65,2	0	4.169.135,00	29,92
S ₃	65,2	65,2	65,2	0	0	21,8	14,9	65,2	0	4.081.650,00	26,93
S ₄	65,2	65,2	65,2	0	0	18,4	0	65,2	0	3.996.288,00	24,23
S ₅	65,2	65,2	65,2	0	0	4,3	0	0	65,2	3.912.292,00	21,81
S ₆	65,2	65,2	65,2	0	0	0	0	41,4	0	3.833.827,00	19,63
S ₇	65,2	65,2	65,2	0	0	0	0	8,7	0	3.761.961,00,	17,67
S ₈	65,2	65,2	50,7	0	0	0	0	0	0	3.524.476,00	15,90
S ₉	65,2	65,2	32,2	0	0	0	0	0	0	3.246.226,00	14,31
S ₁₀	65,2	65,2	0	0	0	0	0	0	0	2.761.457,00	11,54

Fonte: Resultados da pesquisa.

* Multiplicar o número de lotes por 5 para obter a medida em hectares.

O Quadro 73 mostra que para as soluções S₁, S₂ e S₃ a taxa de ocupação da gleba foi acima de 90%, e para as soluções intermediárias a taxa ficou entre 70 e 80%.

Quadro 73 - Variações no nível de danos ambientais para a gleba F

Soluções*	Número de lotes ocupados	Taxa de ocupação da gleba (%)	Margem bruta total (R\$)
S ₁	326,0	100,00	4.255.695,00
S ₂	320,0	98,16	4.169.135,00
S ₃	297,5	91,26	4.081.650,00
S ₄	265,2	81,33	3.996.288,00
S ₅	265,2	81,33	3.912.292,00
S ₆	236,9	72,69	3.833.827,00
S ₇	204,3	62,67	3.761.961,00,
S ₈	181,1	55,55	3.524.476,00
S ₉	162,6	49,87	3.246.226,00
S ₁₀	130,4	39,99	2.761.457,00

Fonte: Resultados da pesquisa.

* Multiplicar o número de lotes por 5 para obter a medida em hectares.

As soluções eficientes para o problema de otimização com variações paramétricas no nível de utilização de mão-de-obra apresentadas no Quadro 74 mostram que, adotando-se qualquer nível de utilização de mão-de-obra de baixa qualificação, obtém-se a margem bruta mais elevada, que é de R\$ 4.429.557,00. Os resultados, nesse nível, recomendam a produção de cebola, melão, pimentão, mamão e uva.

As informações apresentadas no Quadro 75 indicam que para todas as soluções obtidas haverá a plena ocupação dos 326 lotes que compõem a gleba F, assim como a mesma margem bruta no valor de R\$ 4.429.557.

Quadro 74 - Soluções eficientes para o problema de otimização com variações no nível de utilização da mão-de-obra de baixa qualificação para a gleba F

Soluções*	Cebola (lotes)	Melão (lotes)	Pimentão (lotes)	Banana (lotes)	Mamão (lotes)	Uva (lotes)	Melancia (lotes)	Abóbora (lotes)	Milho (lotes)	Margem bruta total (R\$)	MO _m
S ₁	65,2	65,2	65,2	0	65,2	65,2	0	0	0	4.429.557,00	21,54
S ₂	65,2	65,2	65,2	0	65,2	65,2	0	0	0	4.429.557,00	21,88
S ₃	65,2	65,2	65,2	0	65,2	65,2	0	0	0	4.429.557,00	24,32
S ₄	65,2	65,2	65,2	0	65,2	65,2	0	0	0	4.429.557,00	27,02
S ₅	65,2	65,2	65,2	0	65,2	65,2	0	0	0	4.429.557,00	30,02
S ₆	65,2	65,2	65,2	0	65,2	65,2	0	0	0	4.429.557,00	33,36
S ₇	65,2	65,2	65,2	0	65,2	65,2	0	0	0	4.429.557,00	37,06
S ₈	65,2	65,2	65,2	0	65,2	65,2	0	0	0	4.429.557,00	41,18
S ₉	65,2	65,2	65,2	0	65,2	65,2	0	0	0	4.429.557,00	45,76
S ₁₀	65,2	65,2	65,2	0	65,2	65,2	0	0	0	4.429.557,00	50,85

Fonte: Resultados da pesquisa.

* Multiplicar o número de lotes por 5 para obter a medida em hectares.

Quadro 75 - Variações no nível de utilização de mão-de-obra de baixa qualificação para a gleba F

Soluções*	Número de lotes ocupados	Taxa de ocupação da gleba (%)	Margem bruta total (R\$)
S ₁	326,0	100,00	4.429.557,00
S ₂	326,0	100,00	4.429.557,00
S ₃	326,0	100,00	4.429.557,00
S ₄	326,0	100,00	4.429.557,00
S ₅	326,0	100,00	4.429.557,00
S ₆	326,0	100,00	4.429.557,00
S ₇	326,0	100,00	4.429.557,00
S ₈	326,0	100,00	4.429.557,00
S ₉	326,0	100,00	4.429.557,00
S ₁₀	326,0	100,00	4.429.557,00

Fonte: Resultados da pesquisa.

* Multiplicar o número de lotes por 5 para obter a medida em hectares.

Os Quadros 76 e 77 apresentam soluções para o problema de otimização com variações paramétricas com três objetivos compondo o conjunto de restrições para a gleba F.

A solução S₁, apresentada no Quadro 76, indica que a margem bruta foi de R\$ 4.263.365,00, sendo recomendada a produção de cebola, melão, pimentão, mamão, uva, melancia e abóbora. De acordo com o Quadro 77, nesse nível, a gleba F seria plenamente ocupada.

Para a solução S₂, observa-se que os níveis foram tomados como intermediários. Nesse caso, a margem bruta foi de R\$ 3.682.223,00, sendo recomendada a produção de cebola, melão e pimentão. O Quadro 77 mostra que, nesse nível, a gleba F seria ocupada em 59,04%.

Quadro 76 - Soluções para o problema de otimização com variações com três objetivos compondo o conjunto de restrições para a gleba F

Soluções*	Cebola (lotes)	Melão (lotes)	Pimentão (lotes)	Banana (lotes)	Mamão (lotes)	Uva (lotes)	Melancia (lotes)	Abóbora (lotes)	Milho (lotes)	Margem bruta total (R\$)	RI _k	DA ₁	MO _m
S1	65,2	65,2	65,2	0	65,2	2,5	32,3	30,4	0	4.263.365,00	29,82	33,25	50,85
S2	65,2	62,1	65,2	0	0	0	0	0	0	3.682.223,00	17,60	21,81	30,02
S3	65,2	0	65,2	0	0	0	0	0	0	2.472.871,00	8,41	11,54	50,85

Fonte: Resultados da pesquisa.

* Multiplicar o número de lotes por 5 para obter a medida em hectares.

Quadro 77 - Variações com três objetivos compondo o conjunto de restrições para a gleba F

Soluções*	Número de lotes ocupados	Taxa de ocupação da gleba (%)	Margem bruta total (R\$)
S ₁	326,0	100,00	4.263.365,00
S ₂	192,5	59,04	3.682.223,00
S ₃	130,4	39,99	2.472.871,00

Fonte: Resultados da pesquisa.

* Multiplicar o número de lotes por 5 para obter a medida em hectares.

No caso da solução S₃, em que se aplicam os menores níveis para risco e danos ambientais e o maior para utilização de mão-de-obra, tem-se que a produção será de cebola e pimentão, com margem bruta alcançada de R\$ 2.472.871,00 e taxa de ocupação de 39,99%.

Analisando a gleba A, a seguir, observa-se que, pelo Quadro 78, o maior valor para margem bruta foi obtido com o nível mais alto de risco, e à medida que o tomador de decisão toma posições cautelosas quanto ao risco, este irá se refletir não apenas na redução da margem bruta, mas também na combinação de produtos a serem recomendados.

Para a situação intermediária em que o valor é de 45,69, tem-se uma margem bruta de R\$ 9.557.863,00 e uma combinação de três produtos, ou seja, nesse nível de risco, seria recomendada a produção de cebola, melão, pimentão, mamão, melancia e abóbora.

No caso em que o valor for de 21,82, obter-se-á uma margem bruta de R\$ 6.416.354,00 e uma combinação de dois produtos, ou seja, nesse nível de risco, seria recomendada a produção de cebola e pimentão.

O Quadro 79 indica que, quanto menor for o nível de risco, menor será a área ocupada e a margem bruta obtida.

Quadro 78 - Soluções eficientes para o problema de otimização com variações no nível de risco para a gleba A

Soluções*	Cebola (lotes)	Melão (lotes)	Pimentão (lotes)	Banana (lotes)	Mamão (lotes)	Uva (lotes)	Melancia (lotes)	Abóbora (lotes)	Milho (lotes)	Margem bruta total (R\$)	RI _k
S ₁	169,2	169,2	169,2	0	130,9	0	169,2	0,7	0	11.051.340,00	77,38
S ₂	169,2	169,2	169,2	0	85,6	0	70,5	169,2	0	10.783.750,00	69,64
S ₃	169,2	169,2	169,2	0	87,7	0	0	169,2	0	10.485.640,00	62,67
S ₄	169,2	169,2	169,2	0	25,8	0	0	169,2	0	10.202.830,00	56,41
S ₅	169,2	169,2	169,2	0	0	0	0	94,9	0	9.921.743,00	50,76
S ₆	169,2	161,2	169,2	0	0	0	0	0	0	9.557.863,00	45,69
S ₇	169,2	130,3	169,2	0	0	0	0	0	0	8.956.506,00	41,12
S ₈	169,2	102,5	169,2	0	0	0	0	0	0	8.415.680,00	37,01
S ₉	169,2	77,5	169,2	0	0	0	0	0	0	7.927.489,00	33,30
S ₁₀	169,2	0	169,2	0	0	0	0	0	0	6.416.354,00	21,82

Fonte: Resultados da pesquisa.

* Multiplicar o número de lotes por 5 para obter a medida em hectares.

Quadro 79 - Variações no nível de risco para a gleba A

Soluções*	Número de lotes ocupados	Taxa de ocupação da gleba (%)	Margem bruta total (R\$)
S ₁	808,5	95,56	11.051.340,00
S ₂	832,0	98,44	10.783.750,00
S ₃	764,6	90,37	10.485.640,00
S ₄	702,6	83,04	10.202.830,00
S ₅	602,5	71,21	9.921.743,00
S ₆	499,6	59,05	9.557.863,00
S ₇	468,7	55,40	8.956.506,00
S ₈	440,9	52,12	8.415.680,00
S ₉	415,9	49,16	7.927.489,00
S ₁₀	338,3	39,98	6.416.354,00

Fonte: Resultados da pesquisa.

* Multiplicar o número de lotes por 5 para obter a medida em hectares.

O Quadro 80 mostra os intervalos definidos para os valores de DA_1 para a função-objetivo danos ambientais, bem como os resultados dessa simulação para a gleba A.

Pelas soluções mostradas no Quadro 80, observa-se que, adotando-se o maior nível de danos ambientais, obteve-se a margem bruta mais elevada, e a recomendação foi a produção de cebola, melão, pimentão, mamão, uva, melancia e abóbora.

As soluções intermediárias indicam a produção de cebola, melão, pimentão, uva e abóbora com margem bruta variando de R\$ 10.153.490,00 a R\$ 10.592.670,00.

Para a situação em que o tomador de decisão opte por provocar o menor dano ambiental possível, ou seja, DA_1 igual a um e meio, então este maximizará a margem bruta no valor de R\$ 7.164.607,00, recomendando-se, nesse caso, a produção de cebola e pimentão.

Quadro 80 - Soluções eficientes para o problema de otimização com variações no nível de danos ambientais para a gleba A

Soluções*	Cebola (lotes)	Melão (lotes)	Pimentão (lotes)	Banana (lotes)	Mamão (lotes)	Uva (lotes)	Melancia (lotes)	Abóbora (lotes)	Milho (lotes)	Margem bruta total (R\$)	DA _k
S ₁	169,2	169,2	169,2	0	92,9	1,4	169,2	76,2	0	11.044.220,00	86,30
S ₂	169,2	169,2	169,2	0	0	39,1	114,7	169,2	0	10.820.020,00	77,67
S ₃	169,2	169,2	169,2	0	0	56,5	38,9	169,2	0	10.592.670,00	69,90
S ₄	169,2	169,2	169,2	0	0	48	0	169,2	0	10.371.810,00	62,91
S ₅	169,2	169,2	169,2	0	0	11,4	0	169,2	0	10.153.490,00	56,62
S ₆	169,2	169,2	169,2	0	0	0	0	107,5	0	9.949.441,00	50,95
S ₇	169,2	169,2	169,2	0	0	0	0	22,7	0	9.762.807,00	45,86
S ₈	169,2	169,2	131,6	0	0	0	0	0	0	9.147.746,00	41,27
S ₉	169,2	169,2	83,6	0	0	0	0	0	0	8.424.996,00	37,14
S ₁₀	169,2	169,2	0	0	0	0	0	0	0	7.164.607,00	29,94

Fonte: Resultados da pesquisa.

* Multiplicar o número de lotes por 5 para obter a medida em hectares.

O Quadro 81 mostra que para as soluções S_1 , S_2 e S_3 a taxa de ocupação da gleba foi acima de 90%; para as soluções intermediárias, a taxa ficou entre 70 e 80%.

Quadro 81 - Variações no nível de danos ambientais para a gleba A

Soluções*	Número de lotes ocupados	Taxa de ocupação da gleba (%)	Margem bruta total (R\$)
S_1	846,0	100,00	11.044.220,00
S_2	830,6	98,18	10.820.020,00
S_3	772,3	91,28	10.592.670,00
S_4	724,8	85,67	10.371.810,00
S_5	688,3	81,35	10.153.490,00
S_6	615,1	72,70	9.949.441,00
S_7	530,3	62,68	9.762.807,00
S_8	470,0	55,56	9.147.746,00
S_9	422,0	49,88	8.424.996,00
S_{10}	338,3	39,98	7.164.607,00

Fonte: Resultados da pesquisa.

As soluções eficientes para o problema de otimização com variações paramétricas no nível de utilização de mão-de-obra apresentadas no Quadro 82 mostram que, adotando-se qualquer nível de utilização de mão-de-obra de baixa qualificação, obtém-se a margem bruta mais elevada, que foi de R\$ 11.495.100,00. Os resultados, nesse nível, recomendam a produção de cebola, melão, pimentão, mamão, uva e melancia.

Quadro 82 - Soluções eficientes para o problema de otimização com variações no nível de utilização de mão-de-obra de baixa qualificação para a gleba A

Soluções*	Cebola (lotes)	Melão (lotes)	Pimentão (lotes)	Banana (lotes)	Mamão (lotes)	Uva (lotes)	Melancia (lotes)	Abóbora (lotes)	Milho (lotes)	Margem bruta total (R\$)	MO _m
S ₁	169,2	169,2	101,6	0	169,2	169,2	0	0	0	11.495.100,00	47,19
S ₂	169,2	169,2	142,2	0	169,2	169,2	0	0	0	11.495.100,00	52,44
S ₃	169,2	169,2	169,2	0	169,2	169,2	0	0	0	11.495.100,00	58,27
S ₄	169,2	169,2	169,2	0	169,2	169,2	0	0	0	11.495.100,00	64,74
S ₅	169,2	169,2	169,2	0	169,2	169,2	0	0	0	11.495.100,00	71,93
S ₆	169,2	169,2	169,2	0	169,2	169,2	0	0	0	11.495.100,00	79,93
S ₇	169,2	169,2	169,2	0	169,2	169,2	0	0	0	11.495.100,00	88,81
S ₈	169,2	169,2	169,2	0	169,2	169,2	0	0	0	11.495.100,00	98,68
S ₉	169,2	169,2	169,2	0	169,2	169,2	0	0	0	11.495.100,00	109,64
S ₁₀	169,2	169,2	169,2	0	169,2	169,2	0	0	0	11.495.100,00	121,83

Fonte: Resultados da pesquisa.

* Multiplicar o número de lotes por 5 para obter a medida em hectares.

O Quadro 83 mostra que, para todas as soluções, a taxa de ocupação da gleba foi de 100%.

Quadro 83 - Variações no nível de utilização de mão-de-obra de baixa qualificação para a gleba A

Soluções*	Número de lotes ocupados	Taxa de ocupação da gleba (%)	Margem bruta total (R\$)
S ₁	846,0	100,00	11.495.100,00
S ₂	846,0	100,00	11.495.100,00
S ₃	846,0	100,00	11.495.100,00
S ₄	846,0	100,00	11.495.100,00
S ₅	846,0	100,00	11.495.100,00
S ₆	846,0	100,00	11.495.100,00
S ₇	846,0	100,00	11.495.100,00
S ₈	846,0	100,00	11.495.100,00
S ₉	846,0	100,00	11.495.100,00
S ₁₀	846,0	100,00	11.495.100,00

Fonte: Resultados da pesquisa.

* Multiplicar o número de lotes por 5 para obter a medida em hectares.

Os Quadros 84 e 85 apresentam soluções para o problema de otimização com variações paramétricas com três objetivos compondo o conjunto de restrições para a gleba A.

A solução S₁, apresentada no Quadro 84, indica que a margem bruta foi de R\$ 11.106.408,00, sendo recomendada a produção de cebola, melão, pimentão, mamão, uva, melancia e abóbora. De acordo com o Quadro 85, nesse nível, a gleba A seria plenamente ocupada.

Quadro 84 - Soluções eficientes para o problema de otimização com variações com três objetivos compondo o conjunto de restrições para a gleba A

Soluções*	Cebola (lotes)	Melão (lotes)	Pimentão (lotes)	Banana (lotes)	Mamão (lotes)	Uva (lotes)	Melancia (lotes)	Abóbora (lotes)	Milho (lotes)	Margem bruta total (R\$)	RI _K	DA ₁	MO _m
S1	169,2	169,2	169,2	0	169,2	6,4	84,2	78,6	0	11.106.408,00	77,38	86,30	121,83
S2	169,2	130,3	169,2	0	0	0	0	0	0	8.956.506,00	41,12	45,86	79,93
S3	169,2	152,7	16,8	0	0	0	0	0	0	7.097.748,00	33,30	29,94	121,83

Fonte: Resultados da pesquisa.

* Multiplicar o número de lotes por 5 para obter a medida em hectares.

Quadro 85 - Variações com três objetivos compondo o conjunto de restrições para a gleba A

Soluções*	Número de lotes ocupados	Taxa de ocupação da gleba (%)	Margem bruta total (R\$)
S ₁	846,0	100,00	11.106.408,00
S ₂	468,7	55,40	8.956.506,00
S ₃	338,7	40,03	7.097.748,00

Fonte: Resultados da pesquisa.

* Multiplicar o número de lotes por 5 para obter a medida em hectares.

Para a solução S₂, observa-se que os níveis foram tomados como intermediários. Nesse caso, a margem bruta foi de R\$ 8.956.506,00, sendo recomendada a produção de cebola, melão e pimentão. O Quadro 85 mostra que, nesse nível, a gleba A seria ocupada em 55,40%.

No caso da solução S₃, em que se aplicam os menores níveis para risco e danos ambientais e uso de mão-de-obra, tem-se que a produção será de cebola e pimentão, com uma margem bruta alcançada de R\$ 7.097.748,00 e taxa de ocupação de 40,03%.

Por fim, tem-se a gleba D como a última a ser analisada utilizando o Método de Geração de Soluções Eficientes. Ela apresenta situações semelhantes às das demais glebas analisadas por este estudo, ou seja, para a situação em que o nível de risco maior, então maiores serão a margem bruta, o número de lotes ocupados e os valores das soluções ótimas geradas.

Nesse sentido, o Quadro 86 mostra os intervalos definidos para os valores de RI_k para a função-objetivo risco, bem como os resultados dessa simulação para a gleba D.

Quadro 86 - Soluções eficientes para o problema de otimização com variações no nível de risco para a gleba D

Soluções*	Cebola (lotes)	Melão (lotes)	Pimentão (lotes)	Banana (lotes)	Mamão (lotes)	Uva (lotes)	Melancia (lotes)	Abóbora (lotes)	Milho (lotes)	Margem bruta total (R\$)	RI _k
S ₁	40,2	40,2	40,2	0	26,7	0	40,2	8,83	0	2.624.861,00	18,30
S ₂	40,2	40,2	40,2	0	20,8	0	15,5	40,2	0	2.558.971,00	16,47
S ₃	40,2	40,2	40,2	0	20,2	0	0	40,2	0	2.488.122,00	14,82
S ₄	40,2	40,2	40,2	0	5,5	0	0	40,2	0	2.421.258,00	13,34
S ₅	40,2	40,2	40,2	0	0	0	0	21	0	2.354.074,00	12,00
S ₆	40,2	37,9	40,2	0	0	0	0	0	0	2.263.546,00	10,80
S ₇	40,2	30,6	40,2	0	0	0	0	0	0	2.121.432,00	9,72
S ₈	40,2	24	40,2	0	0	0	0	0	0	1.993.791,00	8,75
S ₉	40,2	18,1	40,2	0	0	0	0	0	0	1.877.994,00	7,87
S ₁₀	40,2	0	40,2	0	0	0	0	0	0	1.523.590,00	5,18

Fonte: Resultados da pesquisa.

* Multiplicar o número de lotes por 5 para obter a medida em hectares.

Observa-se pelas soluções geradas pelo Quadro 86 que, adotando-se o maior nível de risco para o modelo no valor de 18,30, obteve-se a margem bruta mais elevada, que foi de R\$ 2.624.861,00. Nesse nível, recomenda-se a produção de cebola, melão, pimentão, mamão e melancia.

Caso o tomador de decisão opte por um nível intermediário de risco de 12, obtém-se uma margem bruta total de R\$ 2.354.074,00, sendo recomendada, para esse caso, a produção de cebola, melão, pimentão e abóbora.

Para a situação na qual o tomador de decisão opte por correr o menor risco possível, ou seja, RI_k igual a 5,18, então este maximizará a margem bruta no valor de R\$ 1.523.590,00. Nesse caso, recomenda-se a produção de cebola e pimentão.

No caso do Quadro 87, observa-se que, para as soluções S_1 , S_2 e S_3 , o número de lotes teve quase sua ocupação produtiva plenamente maximizada, ou seja, obtiveram-se taxas de ocupação da gleba acima de 90%.

Quadro 87 - Variações no nível de risco para a gleba D

Soluções*	Número de lotes ocupados	Taxa de ocupação da gleba (%)	Margem bruta total (R\$)
S_1	196,4	97,70	2.624.861,00
S_2	197,1	98,08	2.558.971,00
S_3	180,9	90,03	2.488.122,00
S_4	166,3	82,74	2.421.258,00
S_5	141,7	70,49	2.354.074,00
S_6	118,3	58,87	2.263.546,00
S_7	111,0	55,24	2.121.432,00
S_8	104,5	51,98	1.993.791,00
S_9	98,5	49,02	1.877.994,00
S_{10}	80,3	39,96	1.523.590,00

Fonte: Resultados da pesquisa.

* Multiplicar o número de lotes por 5 para obter a medida em hectares.

No entanto, os resultados indicam que, à medida que o nível de risco vai se reduzindo, as soluções ótimas e a taxa de ocupação dos lotes vão também acompanhando a tendência de queda. Isso é acompanhado pelas soluções S_4 , S_5 , S_6 , S_7 , S_8 , S_9 e S_{10} . As soluções S_8 , S_9 , e S_{10} indicam queda no número de lotes ocupados de 104,48 para 80,32, representando, assim, queda na taxa de ocupação de 51,98% para 39,96%.

O Quadro 88 mostra os intervalos definidos para os valores de DA_1 para a função-objetivo danos ambientais, bem como os resultados dessa simulação para a gleba D.

Observa-se pelas soluções mostradas no Quadro 88 que, adotando-se o maior nível de danos ambientais no valor de 20,50, obteve-se a margem bruta mais elevada, que foi de R\$ 2.623.892,00. Os resultados, nesse nível, recomendam a produção de cebola, melão, pimentão e abóbora.

Para uma situação em que se opte por um nível intermediário de danos ambientais de 12,10, obtém-se uma margem bruta de R\$ 2.363.686,00, sendo recomendada a produção de cebola, melão, pimentão, milho e uva.

Por fim, tem-se que para a situação em que o tomador de decisão opte por provocar o menor dano ambiental possível, obtendo a margem bruta no valor de R\$ 1.701.476,00, recomendando-se, nesse caso, a produção de cebola e pimentão.

O Quadro 89 mostra que para as soluções S_1 , S_2 e S_3 a taxa de ocupação da gleba foi acima de 90%, e para as soluções intermediárias a taxa ficou entre 70 e 80%.

Quadro 88 - Soluções eficientes para o problema de otimização com variações no nível de danos ambientais para a gleba D

Soluções*	Cebola (lotes)	Melão (lotes)	Pimentão (lotes)	Banana (lotes)	Mamão (lotes)	Uva (lotes)	Melancia (lotes)	Abóbora (lotes)	Milho (lotes)	Margem bruta total (R\$)	DA ₁
S ₁	40,2	40,2	40,2	0	21,9	4,6	40,2	18,2	0	2.623.892,00	20,50
S ₂	40,2	40,2	40,2	0	0	9,3	27,2	40,2	0	2.570.610,00	18,45
S ₃	40,2	40,2	40,2	0	0	13,4	9,1	40,2	0	2.516.481,00	16,60
S ₄	40,2	40,2	40,2	0	0	11,3	0	40,2	0	2.463.992,00	14,94
S ₅	40,2	40,2	40,2	0	0	2,7	0	40,2	0	2.412.275,00	13,45
S ₆	40,2	40,2	40,2	0	0	0	0	25,4	0	2.363.686,00	12,10
S ₇	40,2	40,2	40,2	0	0	0	0	5,3	0	2.319.319,00	10,89
S ₈	40,2	40,2	31,2	0	0	0	0	0	0	2.172.476,00	9,80
S ₉	40,2	40,2	19,8	0	0	0	0	0	0	2.000.976,00	8,82
S ₁₀	40,2	40,0	0	0	0	0	0	0	0	1.701.476,00	7,11

Fonte: Resultados da pesquisa.

* Multiplicar o número de lotes por 5 para obter a medida em hectares.

Quadro 89 - Variações no nível de danos ambientais para a gleba D

Soluções*	Número de lotes ocupados	Taxa de ocupação da gleba (%)	Margem bruta total (R\$)
S ₁	201,0	100,00	2.623.892,00
S ₂	197,3	98,17	2.570.610,00
S ₃	183,4	91,25	2.516.481,00
S ₄	172,2	85,65	2.463.992,00
S ₅	163,5	81,34	2.412.275,00
S ₆	146,0	72,66	2.363.686,00
S ₇	125,9	62,63	2.319.319,00
S ₈	111,6	55,53	2.172.476,00
S ₉	100,2	49,86	2.000.976,00
S ₁₀	88,3	39,96	1.701.476,00

Fonte: Resultados da pesquisa.

* Multiplicar o número de lotes por 5 para obter a medida em hectares.

As soluções eficientes para o problema de otimização com variações paramétricas no nível de utilização de mão-de-obra apresentadas pelo Quadro 90 mostram que, adotando-se qualquer nível de utilização de mão-de-obra de baixa qualificação, haveria a margem bruta de R\$ 2.731.108,00. Os resultados, nesse nível, recomendam a produção de cebola, melão, pimentão, mamão e uva.

De acordo com o Quadro 91, todas as soluções apresentam taxas de ocupação da gleba de 100%.

Por fim, os Quadros 92 e 93 apresentam soluções para o problema de otimização com variações paramétricas com três objetivos compondo o conjunto de restrições para a gleba D.

A solução S₁, representada no Quadro 92, indica que a margem bruta foi de R\$ 2.628.080,00, sendo recomendada a produção de cebola, melão, pimentão, mamão, uva, melancia e abóbora. De acordo com o Quadro 93, nesse nível, a gleba A seria plenamente ocupada.

Quadro 90 - Soluções eficientes para o problema de otimização com variações no nível de utilização de mão-de-obra de baixa qualificação para a gleba D

Soluções*	Cebola (lotes)	Melão (lotes)	Pimentão (lotes)	Banana (lotes)	Mamão (lotes)	Uva (lotes)	Melancia (lotes)	Abóbora (lotes)	Milho (lotes)	Margem bruta total (R\$)	MO _m
S ₁	40,2	40,2	31,3	0	40,2	40,2	0	0	0	2.731.108,00	12,14
S ₂	40,2	40,2	40,2	0	40,2	40,2	0	0	0	2.731.108,00	13,49
S ₃	40,2	40,2	40,2	0	40,2	40,2	0	0	0	2.731.108,00	14,99
S ₄	40,2	40,2	40,2	0	40,2	40,2	0	0	0	2.731.108,00	16,66
S ₅	40,2	40,2	40,2	0	40,2	40,2	0	0	0	2.731.108,00	18,51
S ₆	40,2	40,2	40,2	0	40,2	40,2	0	0	0	2.731.108,00	20,56
S ₇	40,2	40,2	40,2	0	40,2	40,2	0	0	0	2.731.108,00	22,85
S ₈	40,2	40,2	40,2	0	40,2	40,2	0	0	0	2.731.108,00	25,39
S ₉	40,2	40,2	40,2	0	40,2	40,2	0	0	0	2.731.108,00	28,21
S ₁₀	40,2	40,2	40,2	0	40,2	40,2	0	0	0	2.731.108,00	31,35

Fonte: Resultados da pesquisa.

* Multiplicar o número de lotes por 5 para obter a medida em hectares.

Quadro 91 - Variações no nível de utilização de mão-de-obra de baixa qualificação para a gleba D

Soluções*	Número de lotes ocupados	Taxa de ocupação da gleba (%)	Margem bruta total (R\$)
S ₁	201,0	100,00	2.731.108,00
S ₂	201,0	100,00	2.731.108,00
S ₃	201,0	100,00	2.731.108,00
S ₄	201,0	100,00	2.731.108,00
S ₅	201,0	100,00	2.731.108,00
S ₆	201,0	100,00	2.731.108,00
S ₇	201,0	100,00	2.731.108,00
S ₈	201,0	100,00	2.731.108,00
S ₉	201,0	100,00	2.731.108,00
S ₁₀	201,0	100,00	2.731.108,00

Fonte: Resultados da pesquisa.

* Multiplicar o número de lotes por 5 para obter a medida em hectares.

Para a solução S₂, observa-se que os níveis foram tomados como intermediários. Nesse caso, a margem bruta foi de R\$ 2.412.275,00, sendo recomendada a produção de cebola, melão e pimentão. O Quadro 91 mostra que, nesse nível, a gleba D seria ocupada em 81,34%.

No caso da solução S₃, em que se aplicam os menores e maiores níveis, tem-se que a produção será de cebola e pimentão, com margem bruta de R\$ 1.701.476,00 e taxa de ocupação de 39,96%.

O último quadro apresenta a comparação entre a margem bruta gerada pelo Método de Geração de Soluções Eficientes e a margem bruta fornecida pelo Projeto de Irrigação do Jaíba. Observa-se pelas comparações das margens brutas que, com o planejamento utilizando o método de soluções eficientes, elas foram esperadamente maiores.

Quadro 92 - Soluções eficientes para o problema de otimização com variações com três objetivos compondo o conjunto de restrições para a gleba D

Soluções*	Cebola (lotes)	Melão (lotes)	Pimentão (lotes)	Banana (lotes)	Mamão (lotes)	Uva (lotes)	Melancia (lotes)	Abóbora (lotes)	Milho (lotes)	Margem bruta total (R\$)	RI _K	DA ₁	MO _m
S1	40,2	40,2	40,2	0	40,2	0,9	20,8	18,5	0	2.628.080,00	18,30	20,50	31,35
S2	40,2	40,2	40,2	0	0	2,7	0	40,2	0	2.412.275,00	14,82	13,45	20,56
S3	40,2	40,1	0	0	0	0	0	0	0	1.701.476,00	5,18	7,11	31,35

Fonte: Resultados da pesquisa.

* Multiplicar o número de lotes por 5 para obter a medida em hectares.

Quadro 93 - Variações com três objetivos compondo o conjunto de restrições para a gleba D

Soluções*	Número de lotes ocupados	Taxa de ocupação da gleba (%)	Margem bruta total (R\$)
S ₁	201,0	100,00	2.628.080,00
S ₂	163,5	81,34	2.412.275,00
S ₃	80,3	39,96	1.701.476,00

Fonte: Resultados da pesquisa.

* Multiplicar o número de lotes por 5 para obter a medida em hectares.

Quadro 94 - Comparação entre as margens brutas apresentadas pelo Projeto de Irrigação do Jaíba e as geradas pelo estudo

glebas	Margem bruta do Projeto de Irrigação do Jaíba (R\$)	Margem bruta gerada pelo estudo (R\$)
C3	154.908,00	335.381,00
B	307.439,00	3.025.948,00
F	604.849,00	2.472.871,00
A	1.704.984,00	7.097.748,00
D	437.246,00	1.701.476,00

Fonte: Resultados da pesquisa.

De forma geral, mostrou-se aqui que tanto o Método de Ponderação como o Método de Geração de Soluções Eficientes são metodologias consistentes; pode-se, se feitas as devidas considerações, obter as mesmas soluções encontradas por outros métodos de otimização para múltiplos objetivos.

Além disso, pode-se apontar como vantagem adicional desse enfoque a sua flexibilidade no sentido de produzir soluções que levem em consideração fatores mais específicos e particulares a cada situação de decisão.

A proposta de planejamento, utilizando as técnicas de Tomada de Decisão sob Critérios Múltiplos, sugerida pelos resultados obtidos neste estudo não terá o resultado esperado se este não tiver em sintonia com uma estratégia de comercialização eficiente, ou seja, as associações dos produtores das áreas de colonização estudadas deverão se preocupar com a seleção de mercados-alvo, além de estabelecer um *mixing* de comercialização que visa atingir o alvo determinado. Em outras palavras, deve haver preocupação com embalagem, promoção do produto, estratégia de venda e distribuição do produto.

Mais especificamente, a região estudada deveria aplicar novas estratégias logísticas nos setores de armazenamento, embalagem e proteção, manuseio de materiais, compras, venda e transportes.

Segundo FAWCETT e CLINTON (1996), o termo logística é uma palavra originária do termo francês *logis*, que significa abastecer. As atividades da logística envolvem todas aquelas atividades relacionadas diretamente com o fluxo do produto do ponto de origem ao seu ponto de consumo final. É a otimização dessas atividades que facilita o fluxo do produto ao longo da cadeia de suprimentos.

De acordo com MAGEE (1977), o desenvolvimento da logística é necessariamente evolutivo, devido à sua importância fundamental. Isso faz com que não haja um conceito universalmente aceito, pois os conceitos estão sempre evoluindo.

Uma das atividades que vêm preocupando os tomadores de decisão do Projeto de Irrigação do Jaíba é o transporte. Segundo STEVENS (1989), por muitos anos a atividade transportes consistia no deslocamento de produtos a

baixo custo, mas isso está mudando completamente, em razão dos seguintes fatores:

- Novas demandas de aumento de velocidade para atender prazos curtos de entrega com 100% de confiabilidade.
- Exigência da qualidade dos produtos.
- Aumento da variedade dos produtos transportados.
- Alto valor das cargas transportadas.

No caso do Projeto de Irrigação do Jaíba, a estratégia a ser recomendada seria aquela que priorizasse o transporte intermodal e a roteirização. O transporte intermodal de produtos utiliza no mínimo dois modos de transportes - *container* -, carretas móveis, semitrailers - e envolve uma combinação de meios - rodoviário, ferroviário e até hidroviário. A sofisticação dos sistemas logísticos passa da distribuição intermodal para a distribuição multimodal²⁰.

Uma característica importante do serviço integrado da distribuição multimodal é a livre troca de equipamentos entre os diversos modais. Por exemplo, uma carreta rodoviária é embarcada em um avião ou um vagão ferroviário é transportado por um navio.

O uso de *container* é um dos fatores mais significantes experimentados na indústria de transportes. Ele é de inegável eficiência no manuseio da carga, diminuindo a movimentação de navio, terminais e *piers*, resultando, assim, em sensível proteção contra avarias, roubos e intempéries.

No caso da roteirização, ela especifica a seqüência de pontos de demanda que serão atendidos e a programação indica os instantes em que a demanda será atendida. A roteirização procura a melhor escolha entre as rotas a serem utilizadas, tendo como objetivo apoiar as decisões referentes a criação, planejamento e verificação de rotas de distribuição, planejamento de canais de distribuição e formação de cargas.

A roteirização reduz os custos de distribuição, aumenta a eficiência na movimentação de cargas e racionaliza as operações de entrega e coleta de mercadorias; além disso, otimiza a utilização da capacidade dos veículos.

²⁰ A distribuição intermodal utiliza diversos meios de transporte, como hidrovia, ferrovia, rodovia etc.

Deve-se aqui lembrar que o objetivo dessa discussão não é o de propor novas estratégias para a comercialização dos produtos aqui selecionados, mas mostrar a complexidade e importância de se conjugar um planejamento de produção com um planejamento de comercialização dos produtos. Caso contrário, dificilmente consegue-se atingir o objetivo de utilizar de forma plena os fatores disponíveis e proporcionar melhor renda familiar ao pequeno irrigante do Jaíba.

A proposta do Projeto de Irrigação do Jaíba não era de ser um programa social, mas, em razão da baixa renda obtida nas áreas de colonização e do alto nível de endividamento dos pequenos produtores rurais, ele passou então a desempenhar essa função. Assim, este estudo se propõe a indicar outra recomendação para resgatar a qualidade de vida dos pequenos produtores rurais do Projeto Jaíba. Nesse caso, seria necessária a criação da empresa cooperativa, em que os associados são os usuários e também os empresários, exercendo as atividades econômicas, assumindo riscos e repartindo entre si os ganhos ou as perdas. O planejamento aqui proposto seria mais eficiente no sistema de cooperativas, uma vez que a programação agrícola foi feita por lotes e por tipo de irrigação.

5. RESUMO E CONCLUSÕES

O setor agrícola que utiliza sistemas de irrigação, particularmente em países em desenvolvimento, tem geralmente apresentado desempenho abaixo do seu potencial. Além disso, os níveis de produção agrícola e os benefícios obtidos com a irrigação têm indicado poucos atrativos para o incremento de investimentos no setor.

O Projeto de Irrigação do Jaíba apresenta problemas semelhantes, no sentido de que os produtores rurais não utilizam, de forma eficiente, as potencialidades dos recursos naturais existentes. O caso do pequeno irrigante é preocupante, uma vez que este não faz um planejamento rigoroso em sua atividade econômica, não conseguindo, assim, garantir níveis de produtividade que lhe proporcionem melhor qualidade de vida.

O sucesso da agricultura irrigada está diretamente relacionado com a eficiente utilização de todas as informações e técnicas disponíveis para o levantamento e a seleção das alternativas viáveis de produção. Isso garante que o processo de tomada de decisão associado à atividade seja desenvolvido de forma eficaz e consistente, de modo a limitar a possibilidade de falhas na sua execução e o surgimento de resultados imprevistos.

A complexidade no processo de tomada de decisão surge em razão da interação de variáveis internas e externas, do envolvimento de vários “atores” no

processo de tomada de decisão, das implicações de mercado, dos fatores ambientais, do ritmo da mudança tecnológica e do impacto do crescimento e da diversificação da produção.

Essa complexidade se observa à medida que o tomador de decisões tem que efetuar decisões de preferência, avaliando, priorizando e selecionando as alternativas disponíveis, que são caracterizadas por objetivos múltiplos e, geralmente, conflitantes.

Este estudo teve o propósito de ressaltar que em, situações reais, o produtor rural, no momento de efetuar suas decisões, deverá distribuir seus recursos buscando objetivos múltiplos, que podem estar associados a diferentes critérios e a fatores alheios ao seu controle.

Assim, como objetivo geral, este estudo procurou aplicar métodos de Programação sob Múltiplos Critérios como uma ferramenta que auxilie o pequeno produtor rural do Projeto de Irrigação do Jaíba nas atividades de planejar a estratégia de produção mais econômica para um dado período de tempo, considerando as informações disponíveis interna e externamente à propriedade rural.

De início, procurou-se mostrar que, em razão do processo de globalização, o setor agrícola brasileiro sofreu transformações marcantes no arranjo espacial e na formulação de novas posturas gerenciais, ou seja, surgiu a necessidade de se buscar uma modernização dos sistemas produtivos, para com isso preservar a rentabilidade do negócio.

A partir dessa busca, inseriu-se a demanda para o desenvolvimento formal de técnicas de planejamento baseadas na construção e análise de modelos matemáticos.

Visando contribuir para o desenvolvimento de modelos matemáticos que atendam às necessidades dos programas de irrigação e para futuras pesquisas e empreendimentos que visem levar informações ao produtor rural, discutiu-se uma série de trabalhos nos quais se aplicou um conjunto de metodologias de otimização sob critérios múltiplos em programas de irrigação localizados em regiões semi-áridas e áridas.

Entre as metodologias utilizadas pelos estudos estão o Método de Análise Hierárquica e os Modelos para Otimização sob Critérios Múltiplos, subdivididos em Método de Programação de Metas, Método de Programação Linear com Objetivos Múltiplos, Método de Programação de Compromissos e Tomada de Decisão Interativa com Objetivos Múltiplos.

A partir daí, apresentou-se, detalhadamente, a região de estudo em que foi aplicado o Método de Programação Linear com Objetivos, ou seja, as características do Projeto de Irrigação do Jaíba, assim como as glebas que foram analisadas neste estudo.

A seguir, discutiu-se o processo de tomada de decisão sob critérios múltiplos envolvendo as etapas do processo de tomada de decisão e a estrutura operacional para acomodar as técnicas de otimização com múltiplos objetivos.

O Método de Análise Hierárquica (MAH) foi discutido na seção seguinte, tendo como objetivo facilitar a incorporação de considerações qualitativas e subjetivas dentro de fatores quantitativos para o processo de tomada de decisão. O MAH procura hierarquizar os objetivos por meio de comparações paritárias, ou seja, a preocupação está na obtenção de pesos numéricos para alternativas com relação a subobjetivos e para subobjetivos com relação a objetivos de ordem mais elevada.

Na seqüência, foram aplicados os Métodos de Programação Linear com Objetivos Múltiplos que seriam aplicados no planejamento das áreas de colonização do Projeto de Irrigação do Jaíba.

Em seguida, foram formulados os problemas de alocação de recursos para o planejamento agrícola nas áreas de colonização do Projeto de Irrigação do Jaíba, selecionados em função da disponibilidade de dados. Diversos cenários alternativos foram elaborados em função da quantidade de lotes por gleba e do tipo de irrigação utilizado, para as culturas selecionadas.

Esses problemas foram inicialmente resolvidos utilizando o Método de Ponderação para as cinco áreas estudadas, enfocando a maximização da margem bruta, a minimização do risco, a minimização dos danos ambientais e a maximização do uso de mão-de-obra de baixa qualificação obtida com as

culturas selecionadas. Em um primeiro momento, os resultados foram obtidos utilizando o MAH, combinando os objetivos um a um, e em um segundo momento, maximizando-se a função-objetivo, combinando todos os objetivos dentro de uma única função-objetivo.

O segundo método aplicado ao Projeto de Irrigação do Jaíba foi o Método de Geração de Soluções Eficientes. Este método tem como objetivo otimizar um dos objetivos, enquanto os outros estão sendo especificados como restrições. O conjunto eficiente de soluções é gerado parametrizando-se o lado direito dos objetivos tratados como restrições. Assim como no método descrito anteriormente, os objetivos foram inseridos no conjunto de restrições um a um e, por fim, todos de uma vez.

Esse processo de análise oferece ao tomador de decisão um conjunto de cenários que, levando em consideração suas características, poderá antever e minimizar o surgimento de resultados inesperados.

As vantagens operacionais dos sistemas de apoio à tomada de decisão são reconhecidas, uma vez que, de posse das informações relevantes e sabendo utilizá-las, o produtor rural aumentará seu conhecimento e reduzirá as incertezas, desenvolvendo, assim, planos estratégicos para alcançar os objetivos desejados.

Os procedimentos realizados evidenciam a complexidade do processo de tomada de decisão, em que, inicialmente, se hierarquizou em um primeiro nível o objetivo mais geral, que foi o de maximizar a satisfação do produtor; no segundo nível estão, em ordem de importância, os objetivos de minimização do risco, maximização da margem bruta, maximização da mão-de-obra de baixa qualificação e minimização dos danos ambientais; finalmente, o nível mais baixo apresenta as alternativas de cultivo possíveis, para as glebas, de acordo com as culturas selecionadas.

Observa-se pelos resultados que, para o objetivo risco, o cultivo da uva foi o que apresentou o nível de risco mais elevado entre as nove culturas analisadas, seguido da banana e do melão. As três culturas apresentadas com menores níveis de risco foram o milho, a cebola e o pimentão. As demais estão dentro de um nível intermediário.

O segundo objetivo, de acordo com a estrutura hierárquica, indicou que a cebola é a cultura mais importante em termos de margem bruta, seguida de melão e pimentão. As três culturas que se destacaram como menos importantes foram o milho, a banana e a abóbora. As demais culturas estão no nível considerado intermediário.

No caso do terceiro objetivo, verificou-se que a cultura que mais contribuiu para a absorção de mão-de-obra de baixa qualificação foi a cebola, seguida de banana, pimentão e uva. As culturas que menos contribuíram foram melancia, abóbora, milho, melão e mamão.

O último objetivo analisado apresenta as culturas de banana, uva, melancia e mamão como aquelas com os maiores valores para danos ambientais. Contudo, esses valores se apresentam muito próximos entre si, e as que menos provocaram danos ambientais foram abóbora, milho, cebola e pimentão.

Os resultados encontrados para os dois métodos de programação linear com objetivos múltiplos aplicados ao Projeto de Irrigação apontaram para direções semelhantes. No Método de Ponderação, aplicado inicialmente nas glebas C3, B, F, A e D, consideraram-se quatro versões para o modelo de alocação de recursos sujeito às restrições de água para irrigação, uso de mão-de-obra, fertilizantes, agrotóxicos, equipamentos agrícolas e energia. A primeira versão correspondeu à otimização da função-objetivo com dois objetivos, ou seja, maximização da margem bruta e minimização do nível de risco. A segunda versão correspondeu à maximização da margem bruta e minimização dos danos ambientais; a terceira versão correspondeu à maximização da margem bruta e à maximização da utilização de mão-de-obra de baixa qualificação; e, por fim, analisou-se o modelo completo com todos os objetivos.

As soluções geradas para todas as situações simuladas recomendaram que fossem produzidas nas glebas C3, B, D e F as seguintes culturas: cebola, melão, pimentão e abóbora; para a gleba A recomendou-se a produção de cebola, melão, pimentão e melancia. Entretanto, observou-se que para o cultivo da banana as soluções não foram favoráveis, ou seja, pode-se inferir pelos

resultados que a banana não foi uma cultura indicada para os pequenos irrigantes das áreas de colonização.

Para o Método de Geração de Soluções Eficientes, assim como no primeiro método, estabeleceram-se para as glebas C3, B, F, A e D quatro versões para o modelo de alocação de recursos sujeito às restrições de água para irrigação, uso de mão-de-obra, fertilizantes, agrotóxicos, equipamentos agrícolas e energia. A primeira versão correspondeu à otimização da função-objetivo margem bruta, com o objetivo risco compondo o conjunto de restrições. A segunda versão correspondeu à otimização do objetivo margem bruta, com o objetivo danos ambientais compondo o conjunto de restrições. A terceira versão otimizou a margem bruta, com o objetivo utilização de mão-de-obra de baixa qualificação compondo o conjunto de restrições. Por fim, analisou-se o modelo completo com a otimização da margem bruta com os três objetivos, mencionados anteriormente, compondo o conjunto de restrições do modelo.

O conjunto de soluções eficientes foi obtido por meio de variações paramétricas do lado direito dos objetivos considerados como restrições. As variações paramétricas partiram de valores máximos para valores mínimos.

Assim como no primeiro método, as soluções geradas para todas as situações simuladas recomendaram que fossem produzidas nas glebas C3, B, D e F as seguintes culturas: cebola, melão, pimentão e abóbora; para a gleba A recomendou-se a produção de cebola, melão, pimentão e melancia. Confirmando os resultados do primeiro método, observou-se que para o cultivo da banana as soluções não foram favoráveis, ou seja, pode-se inferir pelos resultados que a banana não foi uma cultura indicada para os pequenos irrigantes das áreas de colonização.

A resposta para esse resultado pode ser explicada por duas razões: a primeira deve-se ao fato de que no período de implantação do Projeto de Irrigação do Jaíba havia a necessidade de se promover a ocupação rápida dos lotes, sendo a cultura da banana a mais apropriada em termos econômicos. Nesse mesmo período, os financiamentos foram, em sua grande maioria, voltados para a produção de banana. Entretanto, o que se observa atualmente é que, devido aos

financiamentos, esta se tornou uma monocultura, provocando assim a superprodução. Por essa razão, o pequeno produtor rural foi perdendo interesse, devido ao crescente custo para erradicação de pragas e perda de rentabilidade. A segunda razão é o fato de esses produtores serem, em sua grande maioria, avessos ao risco. Nesse caso, o cultivo da banana seria mais indicado para o médio e o grande empresário do projeto.

Os métodos aplicadas pelo estudo ofereceram cenários de maximização da margem bruta do processo produtivo, fornecendo ao tomador de decisão a melhor estratégia de produção a ser adotada para um determinado período. Além disso, conseguiu-se propor um planejamento agrícola para as áreas de colonização do Projeto de Irrigação do Jaíba, incorporando a visão sistêmica e operacional do produtor rural.

Além de propor o planejamento agrícola para as áreas de colonização do Projeto de Irrigação, este estudo sugere a criação da empresa cooperativa, já que o planejamento aqui proposto seria mais eficiente no sistema de cooperativas, uma vez que a programação agrícola foi feita por lotes e por tipo de irrigação.

Outro ponto relevante é o fato da contínua e crescente pressão exercida pelo homem sobre os recursos naturais. Desse modo, são relativamente comuns a contaminação das coleções d'água, a poluição atmosférica e a substituição indiscriminada da cobertura vegetal nativa, com a conseqüente redução dos hábitos, entre outras formas de agressão ao meio ambiente.

Com essa preocupação, este estudo apresentou cenários que atendem à minimização dos danos ambientais, fornecendo ao produtor rural a decisão da melhor estratégia quanto à utilização de agrotóxicos, fertilizantes e quantidade de água requeridos no período para as áreas onde foram feitos os plantios.

É preciso ressaltar, ainda, algumas limitações deste estudo que dizem respeito ao uso de coeficientes e pesos simulados em algumas situações e à dificuldade operacional de isolamento do seu efeito na margem bruta das atividades. Nesse caso, pode estar havendo influência do efeito de externalidades e de outras variáveis que podem não ter sido consideradas neste estudo. Essas considerações não invalidam o que foi apresentado, mas ressaltam a importância

de se promoverem mais estudos que considerem a questão da análise de sensibilidade para identificação das variáveis a serem submetidas à análise de risco.

Em virtude disso, como sugestão para futuros trabalhos de pesquisa, pode-se citar a aplicação de uma análise de risco como procedimento para melhorar a confiabilidade dos indicadores de decisão de investimento, ou seja, gerar alternativas de simulação ao tomador de decisão, por meio das técnicas de amostragem, como, por exemplo, de Monte Carlo e Hipercubo Latino, as quais diferem no número de iterações necessárias para que os valores amostrais aproximem-se da distribuição de probabilidade dos valores de entrada selecionados.

Deve-se aqui observar que, em virtude da escassez de pesquisas desenvolvidas na área, este trabalho está ainda longe de ser considerado um instrumental completo para aplicação em Projetos de Irrigação. As recomendações aqui apresentadas reforçam a necessidade de maior envolvimento de recursos para maior eficiência na geração de renda e melhoria na qualidade de vida da população envolvida nos Programas de Irrigação no Brasil.

Finalmente, o processo de tomada de decisão, realizado de forma analítica, proporciona o aumento das chances de encontrar soluções acertadas para o problema levantado. Contudo, não há garantia do sucesso da decisão, uma vez que, dificilmente, o tomador de decisão terá condições de levantar a totalidade de alternativas para a solução dos problemas administrativos da propriedade e ter certeza quanto aos resultados advindos da implementação de qualquer uma delas, uma vez que existe um grau de incerteza no processo. Dentro do processo de tomada de decisão, a informação é ingrediente básico que precisa ser estudado e compreendido, a fim de que possa realmente contribuir para os procedimentos administrativos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALPHONCE, C.B. Application of the analytic hierarchy process in agriculture in developing countries. **Agricultural Systems**, v. 53, p. 97-112, 1997.
- BANCO DE DESENVOLVIMENTO DE MINAS GERAIS - BDMG. **Economia mineira - 1989: diagnóstico e perspectivas**. Belo Horizonte, 1989. v. 3, t. 2.
- BARNETT, D., BLAKE, B., McCARL, B.A. Goal programming via multidimensional scaling applied to Senegalese subsistence farms. **American Journal of Agricultural Economics**, v. 11, p. 720-727, 1982.
- BARROS, G.S.C. A transição na política agrícola brasileira. In: AGUIAR, D.R.D., PINHO, J.B. (Eds.). **O agronegócio brasileiro: desafios e perspectivas**. Brasília: SOBER, 1998.
- BAZARAA, M.S., BOUZAHER, A. A linear goal programming model for developing economics with an illustration from the agricultural sector in Egypt. **Management Science**, v. 27, p. 396-413, 1981.
- BRADLEY, S.P., HAX, A.C., MAGNANTI, T.L. **Applied mathematical programming**. Addison-Wesley, 1977. 716 p.
- CANDLER, W., NORTON, R. **Multi-level programming and development policy**. 1977. p. 49. (World Bank Staff Working Paper, 258).
- CHARNES, A., COOPER, W.W. **Management models and industrial applications of linear programming**. New York: John Wiley & Sons, 1961. v. 1, 223 p.

- CHRISTOPHER, M. **Logística e gerenciamento da cadeia de suprimentos: estratégias para a redução de custos e melhoria dos serviços.** São Paulo: Pioneira, 1997. 150 p.
- CLEMEN, R.T. **Making hard decisions: an introduction to decision analysis.** Belmont: Duxbury, 1991. 557 p.
- COCHRANE, J.L., ZELENY, M. **Multiple criteria decision making.** Columbia: University of South Caroline, 1973.
- COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO DO VALE DO SÃO FRANCISCO - CODEVASF. 1.^a Superintendência Regional. **Relatório anual de irrigação do Jaíba.** Montes Claros, 1999.
- CONTINI, E., ARAÚJO, J.D., GARRIDO, W.E. Instrumental econômico para a decisão da propriedade agrícola. In: EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Planejamento da propriedade agrícola: modelos de decisão.** Brasília, 1984. p. 7-22.
- CONSÓRCIO ECOPLAN MAGNA COBA. **Estudos de viabilidade técnico-econômica e projeto básico para implementação do sistema de irrigação e drenagem da 1.^a etapa do perímetro de irrigação de Jaíba - MG.** 1987. 412 p. (Relatório de Andamento - RA-02 e Relatório Preliminar de Alternativas - S.1).
- DANTZIG, G.B. **Linear programming and extensions.** Princeton: Princeton University, 1963.
- DILLON, J.L., MESQUITA, T.C. **Atitudes dos pequenos agricultores do sertão do Ceará diante do risco.** Fortaleza: Departamento de Economia Agrícola, UFC, 1976. 25 p. (Série de Pesquisa, 12).
- EL-SHISHINY, H.A. Goal programming model for planning the development of newly reclaimed lands. **Agricultural Systems**, v. 26, p. 245-261, 1988.
- ENGENHARIA AGRÍCOLA LTDA - GEONORD. 2001.
- EXPERT CHOICE. **Decision support software - version 9.0.** Pittsburg, PA, 1986. 391 p. (Manual).
- FATURETO, C.R.C. **Otimização sob critérios múltiplos: metodologias e uma aplicação para o planejamento agrícola.** Viçosa: UFV, 1997. 135 p. Tese (Doutorado em Economia Rural) - Universidade Federal de Viçosa, 1997.
- FAWCETT, S.E., CLINTON, S.R. **Enhancing logistics performance to improve the competitiveness of manufacturing organizations.** 1996.

- FLINN, J.C., JAYASURIYA, S., KNIGHT, C.G. Incorporating multiple objectives in planning models of low-resource farmers. **Australian Journal of Agricultural Economics**, p. 35-45, 1980.
- GLEN, J.J. Mathematical models in farm planning: a survey. **Operations Research**, v. 35, p. 641-666, 1987.
- GOICOCHEA, A., HANSEN, D.R., DUCKSTEIN, L. **Multiobjective decisions analysis with engineering and business applications**. New York: John Wiley & Sons, 1982. 519 p.
- HAZZEL, P.B.R. A linear alternative to quadratic and semi-variance programming for farm planning under uncertainty. **American Journal of Agricultural Economics**, Florida, v. 53, n. 1, p. 53-62, 1971.
- HEADY, E.O. **Economics of agricultural production and use**. New York: Prentice Hall, 1952. 850 p.
- JANK, F.S. Importância da administração profissional da produção agropecuária. **Preços Agrícolas**, Piracicaba, p. 3-6, 1997.
- KEENEY, R.L., RAIFFA, H. **Decisions with multiple objectives: preferences and value tradeoffs**. New York: Cambridge University, 1993. 569 p.
- LANZER, E.A. **Programação linear: conceitos e aplicações**. Rio de Janeiro: IPEA/INPES, 1982. 270 p.
- LEE, S.M. **Goal programming for decision analysis**. Philadelphia, PA: Auerbach Publishers, 1972. 387 p.
- LÍCIO, A.M.A. O Ministério da Agricultura e o agronegócio. In: CALDAS, R.A. (Ed.). **O agronegócio brasileiro: ciência, tecnologia e competitividade**. Brasília: CNPq, 1998.
- MAGEE, J.F. **Logística industrial: análise e administração dos sistemas de suprimento e distribuição**. São Paulo: Pioneira, 1977. 234 p.
- MAINO, M., BERDEGUÉ, J., RIVAS, T. Multiple objective programming - an application for analysis and evaluation of peasant economy of the VIIIth region of Chile. **Agricultural Systems**, v. 41, p. 387-397, 1993.
- MARKOWITZ, H. **Portfolio selection: efficient diversification of investment**. New York: John Wiley, 1959. 239 p.
- McLEOD JR., R. **Information systems**. New York: McMillan, 1990. 445 p.

- MORAES JR., A.R. **Avaliação econômica do Projeto Jaíba - etapa 1**. Viçosa: UFV, 1997. 137 p. Dissertação (Mestrado em Economia Rural) - Universidade Federal de Viçosa, 1997.
- MORAES JR., A.R. **Ofício n.º 031/2001 - UCGP Jaíba**. Superintendência de Desenvolvimento do Norte de Minas, 2001.
- PETRINI, F. The goals of farmers: The human factor in agricultural management. **Supplement to International Journal of Agrarian Affairs**, v. 5, n. 4, p. 183, 1969. (I.A.A.E. INTER-EUROPEAN SEMINAR, Warsaw).
- RAE, A.N. **Agricultural management economics - activity analysis and decision making**. Wallingford: CAB International, 1994. 358 p.
- RISK analysis and simulation add-in for microsoft excel or lotus 1-2-3. New York: Palisade Corporation, 1995. (Manual).
- ROMERO, C., REHMAN, T. Goal programming and multiple criteria decision making in farm planning: An expository analysis. **Journal of Agricultural Economics**, v. 35, p. 177-190, 1984.
- ROMERO, C., REHMAN, T. **Multiple criteria analysis for agricultural decisions**. New York: Elsevier, 1989. 257 p. (Developments in Agricultural Economics, 5).
- ROMERO, C., AMADOR, F., BARCO, A. Multiple objectives in agricultural planning: a compromise programming application. **American Journal of Agricultural Economics**, p. 78-86, 1987.
- SAATY, T.S. How to make a decision: the Analytic Hierarchy Process. **European Journal of Operational Research**, v. 48, p. 9-26, 1990.
- SAATY, T.S. **Método de análise hierárquica**. São Paulo: McGraw-Hill/Makron Books, 1991. 367 p.
- SANDERS, D.H. **Computers and management in a changing society**. New York: McGraw-Hill, 1974. 597 p.
- SANTOS, H.N., VALE, S.M.L.R. **O uso da informática na administração rural**. Brasília: ABEAS, 1997. 57 p.
- SCHOEMAKER, P.J., WAID, C.C. An experimental comparison of different approaches to determining weights in additive utility models. **Management Science**, v. 28, n. 2, p. 182-196, 1982.

- SCHRAGE, L. **User's manual for LINGO**. Chicago, IL: Lindo Systems Inc., 1991.
- SECRETARIA DE PLANEJAMENTO E COORDENAÇÃO GERAL - SEPLAN. **Projeto Jaíba: relatório sintético**. Belo Horizonte, 1990. 41 p.
- SIMON, H.A. **The new science of management decision**. New Jersey: Prentice-Hall, 1977. 175 p.
- SIMONSEN, M.H. Análise econômica e escolha envolvendo risco. **Revista Brasileira de Economia**, Rio de Janeiro, v. 20, n. 2, p. 135-168, 1966.
- SISKOS, Y., DESPOSTIS, D.K., GHEDIRI, M. Multiobjective modelling for regional agricultural planning: case study in Tunisia. **European Journal of Operations Research**, v. 77, p. 375-391, 1994.
- STEVENS, G.C. Integrating the supply chain. **International Journal of Physical Distribution and Materials Management**, v. 19, n. 8, 1989.
- TAUBE NETTO, M. Tecnologia das decisões - novo paradigma. **Agrosoft 2**, p. 20-25, 1997.
- TOBIN, J. Liquidity preference as behavior towards risk. **The Review of Economics Studies**, v. 670, p. 65-86, 1958.
- TURBAN, E. **Decision support and expert system: management support systems**. New York: Macmillan, 1993. 833 p.
- VALE, S.M.L.R. **Avaliação de sistemas de informação para produtores rurais: metodologia e um estudo de caso**. Viçosa: UFV, 1995. 139 p. Tese (Doutorado em Economia Rural) - Universidade Federal de Viçosa, 1995.
- VON NEUMANN, J., MORGENSTERN, O. **Theory of games and economic behavior**. Princeton, New Jersey: Princeton University Press, 1944.
- WHEELER, B.M., RUSSEL, J.R.M. Goal programming and agricultural planning. **Operational Research Quarterly**, v. 28, p. 21-32, 1977.
- WINSTON, L.W. **Operations research: applications and algorithms**. Belmont, California: Duxbury, 1994. 1312 p.
- WINSTON, L.W. **Simulation modelling using risk**. Belmont, California: Duxbury, 1996. 228 p.

- WIT, C.T., VAN KEULEN, H., SELIGMAN, N.G., SPHARIM, I. Application of interactive multiple goal programming techniques for analysis and planning of regional agricultural development. **Agricultural Systems**, v. 26, p. 211-230, 1980.
- WYSONG JR., E.M. MIS in perspective. **Journal of Systems Management**, v. 36, n. 10, p. 32-35, 1985.
- YOON, K.P., HWANG, C. **Multiple attribute decision making: an introduction**. Thousand Oaks, CA: SAGE, 1995. 75 p. (University Paper Series on Quantitative Applications in the Social Sciences, 7-104).
- ZELENY, M. **Multiple criteria decision making**. New York: McGraw-Hill, 1982. 563 p.

APÊNDICES

APÊNDICE A

SOLUÇÕES PARA AS VERSÕES DO MÉTODO DE PONDERAÇÃO, COM RESTRIÇÕES DE 40% SOBRE A PRODUÇÃO DE CADA PRODUTO EM TODAS AS UNIDADES PRODUTIVAS, USANDO O MAH PARA GLEBA C3

Quadro 1A - Soluções para duas versões do problema de otimização com dois objetivos, maximização da margem bruta e minimização de risco, para diferentes ponderações, com restrição de 40% sobre a produção de cada produto em todas as unidades produtivas, usando o MAH para a gleba C3

Soluções*	Cebola (lotes)	Melão (lotes)	Pimentão (lotes)	Banana (lotes)	Mamão (lotes)	Uva (lotes)	Melancia (lotes)	Abóbora (lotes)	Milho (lotes)	Margem bruta total (R\$)	α_1	α_2
S ₁	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0,9
S ₂	17,1	0	17,1	0	0	0	0	0	0	648.603,00	0,3	0,7
S ₃	17,1	17,1	17,1	0	0	0	0	0	0	981.625,00	0,5	0,5
S ₄	17,1	17,1	17,1	0	0	0	0	0,3	0	982.307,00	0,65	0,35
S ₅	17,1	17,1	17,1	0	0	0	0,4	0	0	983.331,00	0,7	0,3
S ₆	17,1	17,1	17,1	0	0	0	0,4	0	0	983.331,00	0,9	0,1

Fonte: Resultados da pesquisa.

* Multiplicar o número de lotes por 5 para obter a medida em hectares.

Quadro 2A - Níveis de risco associados às soluções geradas para a gleba C3

Soluções*	Número de lotes ocupados	Taxa de ocupação da gleba (%)	Margem bruta total (R\$)	Nível de risco
S ₁	0	0	0	0
S ₂	34,2	60,00	648.603,00	2,20
S ₃	51,3	90,00	981.625,00	4,73
S ₄	51,6	90,54	982.307,00	4,74
S ₅	51,7	90,58	983.331,00	4,77
S ₆	51,7	90,58	983.331,00	4,77

Fonte: Resultados da pesquisa.

* Multiplicar o número de lotes por 5 para obter a medida em hectares.

Quadro 3A - Soluções para duas versões do problema de otimização com dois objetivos, maximização da margem bruta e minimização de danos ambientais, para diferentes ponderações, com restrição de 40% sobre a produção de cada produto em todas as unidades produtivas, usando o MAH para a gleba C3

Soluções*	Cebola (lotes)	Melão (lotes)	Pimentão (lotes)	Banana (lotes)	Mamão (lotes)	Uva (lotes)	Melancia (lotes)	Abóbora (lotes)	Milho (lotes)	Margem bruta total (R\$)	α_1	α_2
S1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0,9
S2	17,1	17,1	0	0	0	0	0	0	0	724.270,00	0,3	0,7
S3	17,1	17,1	17,1	0	0	0	0	0	0	981.625,00	0,5	0,5
S4	17,1	17,1	17,1	0	0	0	0,3	0	0	982.307,00	0,7	0,3
S5	17,1	17,1	17,1	0	0	0	0,4	0	0	983.331,00	0,877	0,123
S6	17,1	17,1	17,1	0	0	0	0,4	0	0	983.331,00	0,9	0,1

Fonte: Resultados da pesquisa.

* Multiplicar o número de lotes por 5 para obter a medida em hectares.

Quadro 4A - Níveis de danos ambientais associados às soluções geradas para a gleba C3

Soluções*	Número de lotes ocupados	Taxa de ocupação da gleba (%)	Margem bruta total (R\$)	Nível de danos ambientais
S ₁	0	0	0	0
S ₂	34,2	60,00	724.270,00	3,02
S ₃	51,3	90,00	981.625,00	4,49
S ₄	51,6	90,54	982.307,00	4,51
S ₅	51,7	90,58	983.331,00	4,55
S ₆	51,7	90,58	983.331,00	4,55

Fonte: Resultados da pesquisa.

* Multiplicar o número de lotes por 5 para obter a medida em hectares.

Quadro 5A - Soluções para duas versões do problema de otimização com dois objetivos, maximização da margem bruta e maximização na utilização de mão-de-obra de baixa qualificação, para diferentes ponderações, com restrição de 40% sobre a produção de cada produto em todas as unidades produtivas, usando o MAH para a gleba C3

Soluções*	Cebola (lotes)	Melão (lotes)	Pimentão (lotes)	Banana (lotes)	Mamão (lotes)	Uva (lotes)	Melancia (lotes)	Abóbora (lotes)	Milho (lotes)	Margem bruta total (R\$)	α_1	α_2
S1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0,9
S2	17,1	5,7	17,1	0	0	17,1	0	0	0	861.697,00	0,3	0,7
S3	17,1	5,7	17,1	0	0	17,1	0	0	0	861.697,00	0,5	0,5
S4	17,1	17,1	17,1	0	0	5,7	0	0	0	1.015.655,00	0,7	0,3
S5	17,1	17,1	17,1	0	0	5,7	0	0	0	1.015.655,00	0,765	0,235
S6	17,1	17,1	17,1	0	0	5,7	0	0	0	1.015.655,00	0,9	0,1

Fonte: Resultados da pesquisa.

* Multiplicar o número de lotes por 5 para obter a medida em hectares.

Quadro 6A - Níveis de utilização de mão-de-obra de baixa qualificação associados às soluções geradas para a gleba C3

Soluções*	Número de lotes ocupados	Taxa de ocupação da gleba (%)	Margem bruta total (R\$)	Nível de mão-de-obra
S ₁	0	0	0	0
S ₂	57,0	100,00	861.697,00	9,12
S ₃	57,0	100,00	861.697,00	9,12
S ₄	57,0	100,00	1.015.655,00	7,06
S ₅	57,0	100,00	1.015.655,00	7,06
S ₆	57,0	100,00	1.015.655,00	7,06

Fonte: Resultados da pesquisa.

* Multiplicar o número de lotes por 5 para obter a medida em hectares.

Quadro 7A - Soluções para duas versões do problema de otimização com quatro objetivos, para diferentes ponderações, com restrição de 40% sobre a produção de cada produto em todas as unidades produtivas, usando o MAH para a gleba C3

Soluções*	Cebola (lotes)	Melão (lotes)	Pimentão (lotes)	Banana (lotes)	Mamão (lotes)	Uva (lotes)	Melancia (lotes)	Abóbora (lotes)	Milho (lotes)	Margem bruta total (R\$)	α_1	α_2	α_3	α_4
S ₁	17,1	17,1	17,1	0	0	0	0	5,7	0	994.165,00	0,292	0,350	0,123	0,235
S ₂	17,1	17,1	17,1	0	0	0	0	5,7	0	994.165,00	0,350	0,292	0,123	0,235
S ₃	17,1	17,1	17,1	0	0	0	0	0	0	981.625,00	0,292	0,123	0,350	0,235
S ₄	17,1	17,1	17,1	0	0	5,7	0	0	0	1.015.655,00	0,292	0,123	0,235	0,350

Fonte: Resultados da pesquisa.

* Multiplicar o número de lotes por 5 para obter a medida em hectares.

Quadro 8A - Soluções geradas para o problema de otimização com quatro objetivos, para diferentes ponderações, com restrição de 40% sobre a produção de cada produto em todas as unidades produtivas, usando o MAH para a gleba C3

Soluções*	Número de lotes ocupados	Taxa de ocupação da gleba (%)	Margem bruta total (R\$)
S ₁	57,0	100,00	994.165,00
S ₂	57,0	100,00	994.165,00
S ₃	51,3	90,00	981.625,00
S ₄	57,0	100,00	1.015.655,00

Fonte: Resultados da pesquisa.

* Multiplicar o número de lotes por 5 para obter a medida em hectares.

APÊNDICE B

PROPOSTAS DE PLANEJAMENTO PARA A GLEBA C3

Quadro 1B - Distribuição da produção por lote para a gleba C3, referente à solução S1, para o problema de otimização com quatro objetivos para diferentes ponderações, usando o MAH e o Método de Ponderação

	Ocupação total do lote (%)	Plantio de cebola (%)	Plantio de melão (%)	Plantio de pimentão (%)	Plantio de banana (%)	Plantio de mamão (%)	Plantio de uva (%)	Plantio de melancia (%)	Plantio de abóbora (%)	Plantio de milho (%)
Lote 1	30	0	0	0	0	0	0	0	30	0
Lote 2	100	30	30	10	0	0	0	0	30	0
Lote 3	100	10	30	30	0	0	0	0	30	0
Lote 4	90	30	30	30	0	0	0	0	0	0
Lote 5	60	30	0	0	0	0	0	0	30	0
Lote 6	60	30	0	0	0	0	0	0	30	0
Lote 7	100	10	30	30	0	0	0	0	30	0
Lote 8	60	30	0	0	0	0	0	0	30	0
Lote 9	60	30	0	0	0	0	0	0	30	0
Lote 10	100	30	10	30	0	0	0	0	30	0
Lote 11	100	10	30	30	0	0	0	0	30	0
Lote 12	90	30	30	30	0	0	0	0	0	0
Lote 13	100	30	10	30	0	0	0	0	30	0
Lote 14	60	30	0	0	0	0	0	0	30	0

Quadro 1B, Cont.

	Ocupação total do lote (%)	Plantio de cebola (%)	Plantio de melão (%)	Plantio de pimentão (%)	Plantio de banana (%)	Plantio de mamão (%)	Plantio de uva (%)	Plantio de melancia (%)	Plantio de abóbora (%)	Plantio de milho (%)
Lote 15	60	0	30	30	0	0	0	0	0	0
Lote 16	60	0	30	30	0	0	0	0	0	0
Lote 17	100	30	10	30	0	0	0	0	30	0
Lote 18	60	0	30	0	0	0	0	0	30	0
Lote 19	80	30	30	20	0	0	0	0	0	0
Lote 20	70	30	30	0	0	0	0	0	0	0
Lote 21	90	30	30	30	0	0	0	0	0	0
Lote 22	30	0	0	0	0	0	0	0	30	0
Lote 23	100	30	30	30	0	0	0	0	10	0
Lote 24	90	30	30	30	0	0	0	0	0	0
Lote 25	100	30	10	30	0	0	0	0	30	0
Lote 26	60	0	30	0	0	0	0	0	30	0
Lote 27	100	30	30	10	0	0	0	0	30	0
Lote 28	90	0	30	30	0	0	0	0	30	0
Lote 29	100	10	30	30	0	0	0	0	30	0
Lote 30	60	30	0	0	0	0	0	0	30	0
Lote 31	100	30	30	10	0	0	0	0	30	0
Lote 32	90	0	30	30	0	0	0	0	30	0
Lote 33	60	30	0	0	0	0	0	0	30	0
Lote 34	60	30	0	0	0	0	0	0	30	0
Lote 35	60	0	0	30	0	0	0	0	30	0
Lote 36	90	0	30	30	0	0	0	0	30	0

Quadro 1B, Cont.

	Ocupação total do lote (%)	Plantio de cebola (%)	Plantio de melão (%)	Plantio de pimentão (%)	Plantio de banana (%)	Plantio de mamão (%)	Plantio de uva (%)	Plantio de melancia (%)	Plantio de abóbora (%)	Plantio de milho (%)
Lote 37	90	30	30	30	0	0	0	0	0	0
Lote 38	90	30	30	30	0	0	0	0	0	0
Lote 39	100	30	10	30	0	0	0	0	30	0
Lote 40	30	0	30	0	0	0	0	0	0	0
Lote 41	90	30	30	30	0	0	0	0	0	0
Lote 42	100	30	10	30	0	0	0	0	30	0
Lote 43	100	30	30	10	0	0	0	0	30	0
Lote 44	90	30	30	30	0	0	0	0	0	0
Lote 45	60	0	30	30	0	0	0	0	0	0
Lote 46	90	30	30	30	0	0	0	0	0	0
Lote 47	60	0	0	30	0	0	0	0	30	0
Lote 48	100	30	30	30	0	0	0	0	10	0
Lote 49	90	30	30	30	0	0	0	0	0	0
Lote 50	100	10	30	30	0	0	0	0	30	0
Lote 51	30	0	0	0	0	0	0	0	30	0
Lote 52	100	30	10	30	0	0	0	0	30	0
Lote 53	70	0	30	30	0	0	0	0	0	0
Lote 54	100	30	10	30	0	0	0	0	30	0
Lote 55	100	30	10	30	0	0	0	0	55	0
Lote 56	60	30	30	0	0	0	0	0	0	0
Lote 57	90	0	30	30	0	0	0	0	57	0

Fonte: Resultados da pesquisa.

Quadro 2B - Distribuição da produção por lote para a gleba C3, referente à solução S1, para o problema de otimização com variações paramétricas, com três objetivos compondo o conjunto de restrições, usando o MAH e o Método de Geração de Soluções Eficientes

	Ocupação total do lote (%)	Plantio de cebola (%)	Plantio de melão (%)	Plantio de pimentão (%)	Plantio de banana (%)	Plantio de mamão (%)	Plantio de uva (%)	Plantio de melancia (%)	Plantio de abóbora (%)	Plantio de milho (%)
Lote 1	100	0	0	30	0	30	10	0	30	0
Lote 2	100	30	0	0	0	30	10	30	0	0
Lote 3	100	20	0	0	0	30	0	20	30	0
Lote 4	100	30	30	10	0	30	0	0	0	0
Lote 5	100	30	30	30	0	0	0	10	0	0
Lote 6	100	30	30	30	0	10	0	0	0	0
Lote 7	100	30	30	0	0	30	0	10	0	0
Lote 8	100	0	30	30	0	30	0	10	0	0
Lote 9	100	0	0	30	0	30	0	30	10	0
Lote 10	100	0	0	30	0	30	10	30	0	0
Lote 11	100	30	10	0	0	30	0	30	0	0
Lote 12	100	30	30	10	0	30	0	0	0	0
Lote 13	100	30	30	30	0	0	0	10	0	130
Lote 14	100	30	30	30	0	10	0	0	0	0
Lote 15	100	30	30	10	0	0	0	30	0	0
Lote 16	100	30	10	0	0	30	0	30	30	0
Lote 17	100	0	30	30	0	10	0	30	0	0
Lote 18	100	0	0	30	0	30	20	20	0	0
Lote 19	100	0	0	10	0	30	0	30	30	0
Lote 20	100	30	30	0	0	30	0	0	0	0

Quadro 2B, Cont.

	Ocupação total do lote (%)	Plantio de cebola (%)	Plantio de melão (%)	Plantio de pimentão (%)	Plantio de banana (%)	Plantio de mamão (%)	Plantio de uva (%)	Plantio de melancia (%)	Plantio de abóbora (%)	Plantio de milho (%)
Lote 21	100	30	30	30	0	0	0	10	0	0
Lote 22	100	30	30	30	0	10	0	0	0	0
Lote 23	100	30	30	30	0	0	0	0	10	0
Lote 24	100	0	30	30	0	30	10	0	0	0
Lote 25	100	0	30	30	0	10	0	0	30	0
Lote 26	100	0	0	30	0	30	0	10	30	0
Lote 27	100	30	0	0	0	30	10	30	0	0
Lote 28	100	30	0	0	0	30	0	10	30	0
Lote 29	100	30	0	30	0	30	0	10	0	0
Lote 30	100	30	30	30	0	0	0	0	10	0
Lote 31	100	30	30	30	0	0	0	0	10	0
Lote 32	100	30	30	0	0	30	0	10	0	0
Lote 33	100	0	30	30	0	30	10	0	0	0
Lote 34	100	30	10	0	0	30	0	30	0	0
Lote 35	100	30	10	30	0	30	0	0	0	0
Lote 36	100	30	30	10	0	30	0	0	0	0
Lote 37	100	30	30	10	0	30	0	0	0	0
Lote 38	100	30	30	30	0	0	0	10	0	0
Lote 39	100	30	30	30	0	10	0	0	0	0
Lote 40	100	30	30	30	0	10	0	0	0	0
Lote 41	100	0	30	10	0	30	30	0	0	0
Lote 42	100	30	30	30	0	0	10	0	0	0

Quadro 2B, Cont.

	Ocupação total do lote (%)	Plantio de cebola (%)	Plantio de melão (%)	Plantio de pimentão (%)	Plantio de banana (%)	Plantio de mamão (%)	Plantio de uva (%)	Plantio de melancia (%)	Plantio de abóbora (%)	Plantio de milho (%)
Lote 43	100	0	10	30	0	30	0	30	0	0
Lote 44	100	10	0	0	0	30	30	30	0	0
Lote 45	100	30	30	10	0	30	0	0	0	0
Lote 46	100	30	30	30	0	0	0	10	0	0
Lote 47	100	30	30	30	0	10	0	0	0	0
Lote 48	100	30	30	0	0	0	0	30	10	0
Lote 49	100	0	30	30	0	30	0	10	0	0
Lote 50	100	0	30	30	0	30	0	10	0	0
Lote 51	100	0	0	30	0	30	0	10	30	0
Lote 52	100	30	0	0	0	30	10	30	0	0
Lote 53	100	30	0	0	0	30	0	10	30	0
Lote 54	100	30	10	30	0	0	0	30	0	0
Lote 55	100	30	30	30	0	10	0	0	0	0
Lote 56	100	30	30	30	0	0	0	0	10	0
Lote 57	100	0	30	30	0	30	0	0	10	0

Fonte: Resultados da pesquisa.

APÊNDICE C

Quadro 1C - Distribuição do valor do custo reduzido para as culturas na gleba C3, referente à solução S1, para o problema de otimização com quatro objetivos, para diferentes ponderações, usando o MAH e o Método de Ponderação

Variável	Número de lotes*	Custo reduzido (R\$)
Cebola	11,4	0
Melão	11,4	0
Pimentão	11,4	0
Banana	0	5,19
Mamão	0	0,22
Uva	0	0
Melancia	0	2,33
Abóbora	11,4	0
Milho	0	0

Fonte: Resultados da pesquisa.

* Multiplicar o número de lotes por 5 para obter a medida em hectares.

Quadro 2C - Distribuição do preço-sombra para as culturas na gleba C3, referente à solução S1, para o problema de otimização com variações paramétricas, com três objetivos compondo o conjunto de restrições, usando o MAH e o Método de Geração de Soluções Eficientes

Variável	Número de lotes*	Custo reduzido (R\$)
Cebola	11,40	0
Melão	11,40	0
Pimentão	11,40	0
Banana	0	0
Mamão	11,40	0
Uva	1,59	0
Melancia	6,34	0
Abóbora	11,40	0
Milho	0	1,50

Fonte: Resultados da pesquisa.

* Multiplicar o número de lotes por 5 para obter a medida em hectares.