

Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”

**Modelagem matemática para a otimização da produção de cafés finos:
um estudo de caso**

Patricia Milan

Dissertação apresentada, para obtenção do título
de Mestre em Ciências. Área de Concentração:
Economia Aplicada.

Piracicaba

2008

Patrícia Milan
Engenheiro Agrônomo

Modelagem matemática para a otimização da produção de cafés finos: um estudo de caso

Orientador:

Prof. Dr. **JOSÉ VICENTE CAIXETA-FILHO**

Dissertação apresentada, para obtenção do título de Mestre em Ciências. Área de Concentração: Economia Aplicada.

Piracicaba

2008

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - ESALQ/USP**

Milan, Patrícia

Modelagem matemática para otimização da produção de cafés finos: um estudo de caso / Patrícia Milan. - - Piracicaba, 2008.
108 p.

Dissertação (Mestrado) - - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2008.
Bibliografia.

1. Café 2. Modelagem matemática 3. Propagação linear 4. Sistema de produção I.Títul

CDD 633.73

“Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor”

Aos meus pais, Cora e Marcos,
DEDICO

AGRADECIMENTOS

- À minha família, por todas as ocasiões em que me apoiaram e estiveram presentes ao meu lado;
- Ao André, pelo carinho, dedicação e principalmente compreensão durante todo o período do programa de pós-graduação em Economia Aplicada – ESALQ - USP;
- À Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, em especial ao Departamento de Economia, pela oportunidade concedida para realização deste trabalho;
- Ao Professor Dr. Jose Vicente Caixeta Filho, a quem devo parte do meu conhecimento científico e crescimento pessoal, pela orientação, amizade, colaboração, oportunidades, paciência e pelas suas contribuições à minha formação profissional;
- Ao Professor Evaristo e à Daniela pelas valiosas sugestões a este trabalho e pela amizade.
- À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP, pela bolsa concedida, em nível de mestrado;
- Aos professores do Departamento de Economia da ESALQ/USP pelos ensinamentos concedidos ao longo do programa de pós-graduação.
- A todos que contribuíram para a realização deste trabalho e foram involuntariamente esquecidos.

SUMÁRIO

RESUMO.....	7
ABSTRACT.....	8
LISTA DE FIGURAS.....	9
LISTA DE QUADROS.....	11
LISTA DE TABELAS.....	12
1 INTRODUÇÃO.....	15
1.1 Considerações gerais.....	15
1.2 Objetivos.....	17
2 DESENVOLVIMENTO.....	18
2.1 Revisão bibliográfica.....	18
2.1.1 O cenário mundial da cafeicultura.....	18
2.1.2 O cenário nacional da cafeicultura.....	23
2.1.3 A importância da qualidade para o café.....	26
2.1.4 Sistema de produção de café.....	34
2.1.5 A pesquisa operacional aplicada à agricultura.....	39
2.1.6 Otimização.....	42
2.2 Metodologia.....	49
2.2.1 Material.....	49
2.2.2 Método.....	56
2.2.3 Modelo matemático proposto.....	58
2.2.3.1 Representação diagramática do modelo proposto.....	60
2.2.3.2 Representação matemática do modelo proposto.....	61
2.2.3.3 Cenários.....	66
2.3 Resultados.....	67
2.3.1 Cenário 1.....	67
2.3.2 Cenário 2.....	76
2.3.3 Cenário 3.....	81
2.3.4 Comparativo entre os cenários.....	87

3 CONCLUSÕES.....	91
REFERÊNCIAS.....	94
ANEXO	99

RESUMO

Modelagem matemática para a otimização da produção de cafés finos: um estudo de caso

A cafeicultura é uma atividade agrícola histórica e tradicional no Brasil e que passa atualmente por uma reformulação em função das novas exigências qualitativas e sociais no mercado internacional. A importância da qualidade do café reside em atender o gosto do consumidor e em representar um fator bastante específico para sua apreciação. As características físicas e organolépticas da bebida do café são influenciadas pelos manejos pré e pós-colheita da cultura. Nesse contexto, a demanda por cafés finos torna necessário que os sistemas de produção adotem novas tecnologias, de manejo e gerenciais, que permitam o aumento da produtividade e a obtenção de um produto com elevada qualidade. O incremento da complexidade no setor torna maior a responsabilidade do produtor perante suas decisões administrativas, incentivando-o a buscar novas ferramentas de análise. A modelagem matemática apresenta-se como um auxílio nas tomadas de decisões cuja aplicação em problemas de otimização na agricultura é bem sucedida. Nesse sentido, esta dissertação tem como objetivo a otimização do gerenciamento de uma propriedade agrícola voltada para a produção de cafés. Para tanto, foi realizado um estudo de caso na Fazenda Santa Maria da Boa Vista, localizada no município de Cristais Paulista (SP), cujos dados empíricos da produção de café auxiliaram na elaboração e validação de um modelo matemático para a otimização da produção de cafés finos. Tal modelo matemático de programação linear multiobjetivo, composto por uma função multiobjetivo, três conjuntos de restrições contábeis, sete conjuntos restrições técnicas e dois conjuntos de variáveis endógenas, se mostrou capaz de auxiliar no planejamento da produção da propriedade, na programação do seqüenciamento de colheita das lavouras, determinando o volume ótimo de produção de cafés finos.

Palavras-chave: Café; Sistema de Produção; Modelagem Matemática; Programação Linear

ABSTRACT

Mathematical modeling for special coffee production optimization: a case study

Coffee production is a historical and traditional agricultural activity in Brazil which is going through a reformulation due to new qualitative and social demands in the international market. The importance of quality to coffee resides in attending the consumer needs and in representing a specific factor for price determination. The physical and organoleptic characteristics of coffee drinks are influenced by pre and post-harvest management of the culture. In this context the demand for special coffee makes it necessary to adopt new technologies to the production systems, to manage the culture and its administration, which allow increase in productivity and a product with good quality. This elevation in complexity within the coffee chain increases the importance given to the farmer's administration decisions, stimulating him to search for new supporting tools for analysis. Mathematical modeling presents itself as an assisting tool to decision making with successful applications in agriculture. Therefore, this study aims to optimize the management of a coffee farm. A case study was conducted at the farm Santa Maria da Boa Vista, located in Cristais Paulista district in the State of São Paulo. The production data of the farm was used to elaborate and validate the mathematical model for special coffee production optimization. This linear programming multiobjective model with one multiobjective function, three sets of countable restrictions, seven sets of technical restrictions and two sets of endogenous variables presented itself as capable of assisting in the farms production planning, in the determination of the harvest sequencing and of the optimal volume of special coffee production.

Keywords: Coffee; Production System; Mathematical Modeling; Linear Programming

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Principais <i>players</i> no mercado mundial de café.....	22
Figura 2 - Evolução da produção (mil sacas de 60 quilogramas) e da área plantada (mil hectares) com café no Brasil, 1961 a 2005.....	25
Figura 3 - Evolução da produtividade (sacas/ha) do café brasileiro, 1961 a 2005.....	26
Figura 4 - Preços da saca de café nas regiões da Mogiana, Sul de Minas e Espírito Santo, setembro de 1996 a setembro de 2007.....	28
Figura 5 - Diferença de preço entre café arábica da região da Mogiana e café robusta do Espírito Santo, novembro 2001 a agosto 2007.....	29
Figura 6 - Diferença do preço da saca de café arábica cultivado na região da Mogiana daquele do Sul de Minas, novembro 2001 a agosto 2007.....	29
Figura 7 - Fases fenológicas críticas de ataque das doenças no cafeeiro em condições de campo.....	37
Figura 8 - Definição interativa dos objetivos nos módulos do MODAM.....	48
Figura 9 - Representação esquemática dos passos para estruturação do modelo matemático de programação linear multiobjetivo e obtenção dos seus resultados.....	59
Figura 10 - Representação diagramática do modelo proposto.....	61
Figura 11 - Resultados de lucro (L), gastos com insumos (G) e produção de café cereja (E) obtidos com os processamentos desenvolvidos para o cenário 1.....	71
Figura 12 - Resultados de lucro (L), custo de colheita (C) e produção total de café (Z) obtidos nos processamentos desenvolvidos para o cenário 1.....	72
Figura 13 - Resultados de lucro (L), gastos com insumos (G) e produção de café cereja (E) obtidos com os processamentos desenvolvidos para o cenário 2.....	79
Figura 14 - Resultados de lucro (L), custo de colheita (C) e produção total de café (Z) obtidos nos processamentos desenvolvidos para o cenário 2.....	79
Figura 15 - Resultados de lucro (L), gastos com insumos (G) e produção de café cereja (E) obtidos com os processamentos desenvolvidos para o cenário 3.....	85
Figura 16 - Resultados de lucro (L), custo de colheita (C) e produção total de café (Z) obtidos nos processamentos desenvolvidos para o cenário 3.....	85

Figura 17 - Curva de compensação entre lucro (L) e produção de café cereja (E) para o cenário 1.....	89
Figura 18 - Curva de compensação entre lucro (L) e produção de café cereja (E) para o cenário 2.....	89
Figura 19 - Curva de compensação entre lucro (L) e produção de café cereja (E) para o cenário 3.....	90
Figura 20 - Custo de colheita (R\$) conforme a área colhida mecanicamente (ha).....	90

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Caracterização dos sistemas de produção de café.....	36
Quadro 2 - Principais doenças de campo da cultura do café e seus respectivos agentes causais.....	37

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Os dez maiores produtores mundiais de café, em 1980, 1985, 1990,1995 e 2000 a 2005.....	19
Tabela 2 - Os dez maiores consumidores mundiais de café, safras 2001/2002 a 2006/2007.....	20
Tabela 3 - Os dez maiores importadores mundiais de café, em 1990, 1995 e 2000 a 2004.....	21
Tabela 4 - Os dez maiores exportadores mundiais de café, em 1990, 1995 2000 a 2004.....	22
Tabela 5 - Produção, área e número de covas por Unidade de Federação (UF) e região do parque cafeeiro brasileiro, safra 2005/2006.....	24
Tabela 6 - Volume financeiro e físico adquirido e preço pago pelos principais compradores do café brasileiro na safra 2004/2005.....	27
Tabela 7 - Espaçamento adotado, número de pés por lavoura, área, previsão de safra, calagem, adubação e controle fitossanitário na safra 2005-06 na Fazenda Santa Maria da Boa Vista.....	50
Tabela 8 - Aplicações 1 a 10 de produtos foliares na safra 2005/06 na Fazenda Santa Maria da Boa Vista.....	52
Tabela 9 - Custos de insumos e aplicação de produtos via solo.....	53
Tabela 10 - Custos de insumos aplicados via foliar.....	54
Tabela 11 - Custo das aplicações via foliar.....	54
Tabela 12 - Custo de atividades de manejo.....	55
Tabela 13 - Custos de colheita e produção por lavoura.....	55
Tabela 14 - Processamentos realizados com o modelo matemático multiobjetivo.....	66
Tabela 15 - Equações forçadas nos processamentos 2 a 7 do cenário 1.....	68
Tabela 16 - Resultados obtidos para os processamentos do cenário 1.....	69
Tabela 17 - Alocação dos insumos indicadas pelos processamentos 1, 2A, 2B, 2C, 4A, 4B, 4C, 4D e 5 para o cenário 1.....	73

Tabela 18 - Alocação dos insumos indicadas pelos processamentos 3, 6 e 7 para o cenário 1.....	73
Tabela 19 - Seqüenciamento de colheita indicado para os processamentos 1, 2, 3, 6 e 7 para o cenário 1.....	74
Tabela 20 - Seqüenciamento de colheita indicado para o processamento 4A para o cenário 1.....	74
Tabela 21 - Seqüenciamento de colheita indicado para o processamento 4B para o cenário 1.....	75
Tabela 22 - Seqüenciamento de colheita indicado para o processamento 4C para o cenário 1.....	75
Tabela 23 - Seqüenciamento de colheita indicado para o processamento 4D para o cenário 1.....	75
Tabela 24 - Comparação entre os parâmetros do modelo para os cenários 1 e 2.....	76
Tabela 25 - Equações forçadas nos processamentos 2 a 7 do cenário 1.....	77
Tabela 26 - Resultados dos processamentos para o cenário 2.....	77
Tabela 27 - Alocação dos insumos indicadas pelos processamentos 1, 2A, 2C e 5 para o cenário 2.....	80
Tabela 28 - Alocação dos insumos indicadas pelos processamentos 2B, 3, 4A, 4B, 4C, 4D e 6 para o cenário 2.....	80
Tabela 29 - Alocação dos insumos indicada pelo processamento 7 para o cenário 2.....	81
Tabela 30 - Pesos concedidos aos múltiplos objetivos considerados.....	81
Tabela 31 - Equações forçadas nos processamentos 2 a 7 do cenário 3.....	82
Tabela 32 - Resultados dos processamentos para o cenário 2.....	83
Tabela 33 - Alocação dos insumos indicadas pelos processamentos 1, 2A, 2B, 4A, 4B, 4C e 4D para o cenário 3.....	86
Tabela 34 - Alocação dos insumos indicadas pelos processamentos 2C, 2D, 2E e 5 para o cenário 3.....	86
Tabela 35 - Alocação dos insumos indicadas pelos processamentos 3, 6A 6B e 7 para o cenário 3.....	87
Tabela 36 - Alocação dos insumos indicada pelo processamento 6C para o cenário 3.....	87
Tabela 37 - Leitura dos sets e parâmetros do modelo do GAMS no Excel.....	104

Tabela 38 - Sets de entrada do modelo do GAMS no Excel.....	104
Tabela 39 - Produção do talhão em sacas/ha conforme adubação de macronutriente, micronutriente e controle de defensivo aplicado.....	105
Tabela 40 - Custo da colheita (R\$/ha) conforme talhão, mês e tipo de colheita.....	106
Tabela 41 - Gastos com insumos de adubação e controle fitossanitário, em R\$/ha.....	107
Tabela 42 - Área dos talhões (ha) da Fazenda Santa Maria da Boa Vista.....	108
Tabela 43 - Preço pago pela saca de café, conforme sua qualidade (R\$/saca).....	108
Tabela 44 - Proporção da produção de café por qualidade por talhão.....	108

1 INTRODUÇÃO

1.1 Considerações gerais

A cafeicultura vive na atual safra 2008/2009 um momento próspero. A perspectiva é de que a demanda pelo produto continue crescente diante de uma oferta sabidamente reduzida em função dos baixos estoques mundiais. Esse cenário estimula a elevação das cotações de preços internacionais da saca de café, proporcionando aos produtores uma expectativa de boa rentabilidade. Nesta situação, o cafeicultor tem a oportunidade de investir em sua lavoura e na sua infra-estrutura de produção e beneficiamento. O lucro também não é fortemente pressionado pelos custos. No entanto, isso não elimina a necessidade de o produtor utilizar ferramentas que possibilitem uma gestão eficiente para a redução dos custos de modo a potencializar seus investimentos e seu retorno financeiro.

Entretanto, um panorama positivo não é constante. Houve e haverá novas épocas em que o produtor de café enfrentará dificuldades. Essas poderão ocorrer em função de preços baixos, problemas climáticos ou fitossanitários, ou outros motivos. Nessas situações, o cuidado na gestão da propriedade agrícola deve ser redobrado para permitir uma adequada condução da cultura e o máximo de retorno possível e / ou o mínimo de prejuízo. Uma correta administração em períodos adversos é fundamental para que o produtor conserve e proteja sua fonte de produção e, conseqüentemente, de lucro.

A exposição do cafeicultor aos riscos das variações internacionais do preço da saca de café torna necessário que o mesmo atue sobre a gestão para a redução de seus custos. Essa se mostra desafiadora diante da complexidade do sistema produtivo do café e das novas tecnologias disponíveis. A correta alocação dos insumos produtivos depende de variáveis não controláveis, como clima e incidência de pragas e doenças; e de outras controláveis, como quantidade de adubos, horas disponíveis de mão-de-obra e máquinas agrícolas, entre outras. A meta é alocar eficientemente os recursos produtivos de forma a atenuar os impactos negativos que podem advir das variáveis não controláveis ao mesmo tempo em que se maximiza o retorno dos investimentos realizados.

Recentemente, surgiu uma nova alternativa para o cafeicultor se proteger contra as oscilações dos preços da *commodity* café: a produção do café fino. Como países tradicionalmente importadores de café estão cada vez mais exigentes quanto à qualidade do produto, o grão importado deve atender a características específicas de cor, aroma e sabor de bebida, que devem se manter constantes a cada entrega. Também são feitas exigências quanto ao sistema produtivo, que deverá ser socialmente justo e ambientalmente correto. Em contrapartida, esses países estão dispostos a pagar um prêmio sobre o valor da *commodity* para ter as suas exigências atendidas.

Diante desse cenário, é possível observar a necessidade de o cafeicultor adotar o uso de ferramentas eficientes para a gestão da sua propriedade agrícola. Nesse sentido, se tornam importantes estudos que desenvolvam novas ferramentas capazes de acompanhar a evolução das tecnologias utilizadas nos complexos sistemas produtivos, ao mesmo tempo em que sejam flexíveis para incorporar possíveis demandas quanto às características do produto.

Uma propriedade agrícola produtora de café apresenta várias lavouras diferenciadas principalmente pela sua idade, variedade de café plantado e espaçamento entre linhas. Essas características influenciam a produtividade, a qualidade do grão de café produzido e o manejo operacional a ser adotado. Dessa maneira, o produtor deve administrar sua propriedade considerando as características intrínsecas das lavouras e a dinâmica existente entre elas proporcionada pelo ciclo biológico do pé de café, cuja vida útil pode ultrapassar 20 anos.

Diante dos elevados investimentos necessários para a formação e condução das lavouras, aquisição de máquinas e implementos agrícolas e construção da estrutura de secagem, assim como do longo ciclo produtivo do café, é necessário que o produtor apresente um dimensionamento adequado de sua estrutura produtiva para não incorrer em gastos desnecessários e para maximizar o volume de produção.

Para a produção de cafés finos, a constância no volume anual produzido de grãos cereja torna-se de extrema importância para a manutenção da fidelidade do cliente, uma vez que esse exige estabilidade na oferta do produto. Isso representa um desafio para o cafeicultor em função do biênio da safra de café.

1.2 Objetivos

Diante da complexidade atual dos sistemas produtivos e da importância da sustentabilidade econômica para a cafeicultura, esta dissertação teve como objetivo geral otimizar a gestão operacional da Fazenda Santa Maria da Boa Vista, propriedade agrícola localizada em Cristais Paulista -SP, voltada para a produção de cafés.

Foram analisados dados empíricos da produção de café na Fazenda Santa Maria da Boa Vista visando a identificação das principais variáveis para a elaboração de um modelo matemático de programação linear multiobjetivo que seja capaz de auxiliar:

1. no planejamento da produção;
2. na programação do seqüenciamento de colheita das lavouras;
3. na determinação do volume ótimo de produção de cafés finos.

O modelo matemático de programação linear multiobjetivo foi composto por uma função multiobjetivo, três conjuntos de restrições contábeis, sete conjuntos restrições técnicas e dois conjuntos de variáveis endógenas. Foram analisados três cenários que buscaram: comprovar que as funções, equações e inequações consideradas refletiam de forma adequada as simplificações feitas para o sistema produtivo de café da Fazenda Santa Maria da Boa Vista; alterar parâmetros de entrada e incorporar pesos aos objetivos considerados para verificar como seria a mudança de comportamento do modelo. Para cada um dos cenários foram repetidos sete processamentos. No primeiro não foi forçada nenhuma restrição de forma a se obter os valores mínimos ou máximos dos objetivos considerados. No segundo, foi imposta uma renda mínima. No terceiro, um gasto máximo com insumo. No quarto, se restringiu a área de colheita mecânica até que a totalidade da colheita fosse manual. No quinto forçou-se uma renda mínima ao mesmo tempo em que se restringia a área com colheita mecânica. No sexto processamento forçou-se uma produção mínima de café cereja e no sétimo, uma produção total mínima.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Revisão bibliográfica

Este capítulo busca abordar o cenário da cafeicultura no mundo e no Brasil, destacando a importância da qualidade para o café e os principais aspectos do sistema produtivo que o afetam. São destacados também conceitos e trabalhos sobre a aplicação da pesquisa operacional para o auxílio no gerenciamento da propriedade agrícola.

2.1.1 O cenário mundial da cafeicultura

O café é uma bebida bastante popular apreciada por inúmeros consumidores. Segundo Tavares (2002), suas características de aroma e sabor são insubstituíveis. Dechen e Costa (1994) ainda complementam que a bebida estimula a atividade mental, favorece o trabalho intelectual evitando a sonolência e a sensação de fadiga e, após as refeições, auxilia a digestão ao induzir a liberação de secreções gástricas e biliares.

O café é uma planta cujo cultivo é adequado em regiões tropicais e subtropicais. Tavares (2002) traça o caminho percorrido pelo café até o continente americano. Com origem na África, nas regiões altas da Etiópia, onde é encontrado naturalmente como planta de sub-bosque, o café foi levado para a Arábia, o Egito, alguns países da Europa e, por fim, para as colônias ibéricas no continente americano. Atualmente, é uma cultura de extrema importância para os países do terceiro mundo, principais produtores e exportadores mundiais, uma vez que a exportação desse produto para os países de primeiro mundo, os quais são tradicionalmente os maiores importadores, representa um volume expressivo.

No mundo, são mais de cinquenta países produtores de café, a maioria em desenvolvimento e apresentando uma situação econômica instável. Tradicionalmente, o Brasil tem sido o principal produtor e exportador mundial. Segundo os dados da Food and Agriculture Organization of the United Nations - FAO, a produção mundial em 2005 foi de 128,6 milhões de sacas de 60 quilogramas, liderada pelo Brasil com 36,3 milhões de sacas, seguido pelo Vietnam

com 16,5 milhões de sacas, Indonésia com 12,7 milhões de sacas e Colômbia, que historicamente ocupava o segundo lugar, com 11,37 milhões de sacas (vide Tabela 1).

De 1980 para 2005, o Vietnã aumentou sua produção em 11.685%, a Indonésia em 158% e o Brasil em 105%. A Colômbia, por sua vez, reduziu a produção em 6%. Esses números demonstram claramente a elevação da importância do Vietnã como produtor. O aumento da sua produção decorre, entre outros fatores, do incremento na demanda mundial pelo produto.

Tabela 1 - Os dez maiores produtores mundiais de café, em 1980, 1985, 1990, 1995 e 2000 a 2005

	Produção Café Verde (em mil sacas de 60 quilogramas)									
	1980	1985	1990	1995	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Brasil	17.687	31.844	24.414	15.502	31.726	30.326	44.160	33.118	41.114	36.321
Vietnã	140	205	1.533	3.633	13.375	14.010	11.658	13.228	13.910	16.500
Indonésia	4.916	5.190	6.879	7.630	10.417	9.586	11.367	11.439	11.667	12.700
Colômbia	12.073	10.718	14.083	13.697	10.619	10.936	11.614	11.568	11.343	11.376
México	3.667	4.337	7.333	5.409	5.636	5.050	5.217	5.181	5.181	5.181
Etiópia	2.497	3.252	1.968	3.000	4.867	5.017	5.017	4.583	4.500	4.583
Índia	0	0	0	3.833	3.833	3.800	3.756	3.693	4.333	4.333
Guatemala	2.957	3.027	3.373	3.515	5.201	4.595	3.697	4.070	3.610	3.610
Honduras	1.070	1.252	1.996	2.207	3.222	3.426	2.879	2.921	3.085	3.177
Uganda	2.253	2.400	2.146	3.024	2.391	3.290	3.150	2.515	3.100	3.100
Mundo	80.615	97.076	101.201	92.283	125.877	121.385	130.937	119.731	129.698	128.636

Fonte: Elaborado a partir de dados da FAO.

O consumo mundial de café no ano agrícola 2004/2005 foi de 30,6 milhões de sacas de café de 60 quilogramas. Para 2005/2006 está previsto o consumo de 31,5 milhões de sacas, sendo que o Brasil aparece como principal consumidor, com 16 milhões de sacas, seguido pela Indonésia com 2 milhões de sacas e a Etiópia, com 1,8 milhões de sacas (vide Tabela 2).

Tabela 2 - Os dez maiores consumidores mundiais de café, safras 2001/2002 a 2006/2007

	Consumo Café Verde (em mil sacas de 60 quilogramas)					
	2001/2002	2002/2003	2003/2004	2004/2005	2005/2006	2006/2007
Brasil	13.700	13.500	14.400	15.500	16.000	16.600
Indonésia	1.465	1.480	1.700	1.920	2.000	2.130
Etiópia	1.833	1.833	1.833	1.835	1.835	1.835
México	1.000	950	959	1.400	1.523	1.356
Índia	1.100	1.171	1.190	1.250	1.335	1.440
Colômbia	1.590	1.260	1.255	1.200	1.200	1.200
Filipinas	950	1.000	1.020	1.040	1.060	1.085
Venezuela	745	720	700	700	710	710
República Dominicana	343	340	336	690	652	764
Vietnam	500	500	533	618	636	655
Total	27.781	27.398	28.396	30.634	31.498	32.329

Fonte: Elaborado a partir de dados do USDA.

A elevação da demanda reflete o aumento do consumo pelos Estados Unidos, Alemanha, Japão e Itália que elevaram o volume de importação de 1990 a 2004 em, respectivamente, 11%, 25%, 29% e 37%. O volume importado por esses países em 2004 foi de, respectivamente, 23,36 milhões de sacas, 18,21 milhões de sacas, 7,84 milhões de sacas e 7,10 milhões de sacas (vide Tabela 3). Esse crescimento tem ocorrido principalmente no segmento de cafés especiais. Tavares (2002) cita que o consumo do café *commodity* nos tradicionais países importadores está estagnado.

Tabela 3 - Os dez maiores importadores mundiais de café, em 1990, 1995 e 2000 a 2004

	Importação Café Verde (em mil sacas de 60 quilogramas)						
	1990	1995	2000	2001	2002	2003	2004
Estados Unidos	21.111	17.226	23.941	21.569	21.812	23.032	23.365
Alemanha	14.628	13.068	15.716	15.991	16.515	16.552	18.219
Japão	6.103	6.067	7.397	7.536	7.783	7.413	7.845
Itália	5.201	5.327	6.380	6.600	6.579	6.983	7.105
França	6.449	6.484	6.922	7.013	7.208	6.971	6.280
Federação Russa	0	1.645	3.175	4.920	4.935	5.504	5.246
Espanha	3.099	3.245	3.916	4.188	4.228	4.354	4.325
Bélgica	0	0	2.968	2.859	3.725	3.838	4.152
Canadá	2.266	2.538	3.314	3.382	3.199	3.169	3.879
Reino Unido	3.083	2.847	3.247	3.206	3.293	3.247	3.469

Fonte: Elaborado a partir de dados da FAO.

Apesar da expansão do mercado mundial de café nos últimos 15 anos, o Brasil vem perdendo participação principalmente para o Vietnã. Em 2004, o Brasil exportou 26,94 milhões de sacas de 60 quilogramas de café, seguido pelo Vietnã com 16,24 milhões de sacas e a Colômbia com 10,18 milhões de sacas. Em comparação com o volume exportado em 1990, esses países oscilaram suas exportações em, respectivamente, 51%, 988% e - 27%. Nesse mesmo ano, a Indonésia exportou 5,94 milhões de sacas, uma redução no volume de 16% em comparação com 1990 (vide Tabela 4).

Tabela 4 - Os dez maiores exportadores mundiais de café, em 1990, 1995 2000 a 2004

	Exportação Café Verde (em mil sacas de 60 quilogramas)						
	1990	1995	2000	2001	2002	2003	2004
Brasil	17.783	15.344	18.845	24.188	29.190	26.478	26.946
Vietnam	1.493	4.135	12.232	15.520	11.976	12.487	16.247
Colômbia	14.009	9.855	9.294	10.039	10.381	10.351	10.185
Alemanha	3.577	3.395	6.834	6.429	7.540	7.755	8.176
Indonésia	7.056	3.908	6.022	4.411	5.732	5.670	5.940
Guatemala	3.351	3.448	4.864	4.129	3.460	4.166	3.481
Peru	1.141	1.765	2.386	2.666	2.795	2.507	3.186
Índia	1.606	2.892	3.764	3.748	3.689	3.785	3.185
Estados Unidos	843	1.882	2.362	2.383	2.567	2.727	2.997
Bélgica	0	0	2.367	2.389	2.374	2.248	2.652

Fonte: Elaborado a partir de dados da FAO.

A Figura 1 ilustra os principais *players* no mercado mundial de café, suas respectivas produções, exportações e importações.

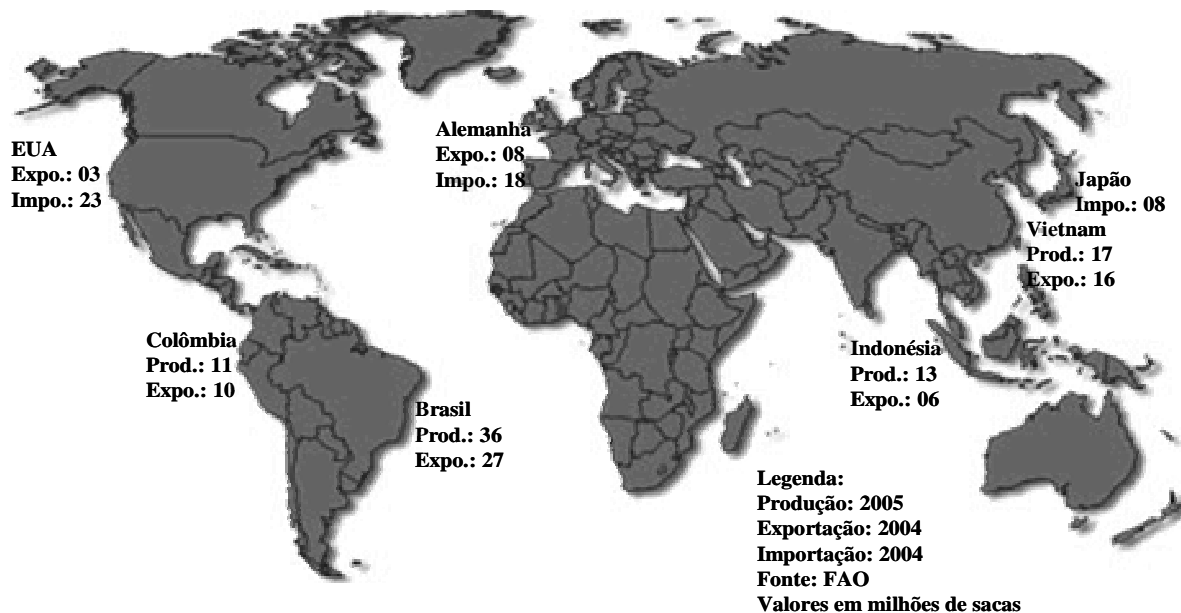


Figura 1 - Principais *players* no mercado mundial de café

Farina e Zylbersztajn (1998) citam algumas razões da perda de mercado do produto brasileiro: falta de qualidade, altos custos de produção, endividamento da cafeicultura, problemas climáticos e grandes variações no preço do produto.

Diante desse cenário, é importante ressaltar que os produtores de café brasileiro precisam começar a atender as novas exigências dos países consumidores e ao mesmo tempo reduzir custos, tornando seu produto mais competitivo no mercado internacional. O grande desafio é diferenciar o produto nacional. Para tanto, são necessários estudos que desenvolvam novas ferramentas de gestão e estratégias de produção que agreguem valor e qualidade, além de otimizar a estrutura produtiva visando o aumento da rentabilidade do negócio.

2.1.2 O cenário nacional da cafeicultura

A produção de café tem destaque na agricultura brasileira por diversos fatores: a cultura tem um papel central na história do país; é hoje responsável por milhares de empregos diretos e indiretos no campo; o Brasil é o principal produtor e exportador mundial do grão; e a exportação do produto ainda mantém-se como uma importante fonte de divisas.

Segundo dados da Companhia Nacional de Abastecimento - CONAB (2006), na safra 2005/2006 o parque cafeeiro brasileiro era composto por 219.646 hectares com 630.289 covas com café em formação e 2.217.666 hectares com 5.324.482 covas com café em produção. A produção total foi de 32.944 mil sacas de café beneficiado, sendo 23.818 mil sacas de café arábica (72%) e 9.126 mil sacas de café robusta (28%) (vide Tabela 5).

Tabela 5 - Produção, área e número de covas por Unidade de Federação - UF e região do parque cafeeiro brasileiro, safra 2005/2006

UF / REGIÃO	Parque Cafêeiro				Produção		
	Em Formação		EM PRODUÇÃO		(mil sacas beneficiadas)		
	Área (ha)	Cafeeiros (mil covas)	Área (ha)	Cafeeiros (mil covas)	Arábica	Robusta	Total
Minas Gerais	156.505	423.003	1.033.533	2.609.108	15.189	30	15.219
Sul e Centro	99.248	248.120	496.613	1.155.592	6.750	-	6.750
Triângulo, Alto Paranaíba e Noroeste	24.267	84.934	160.714	523.705	2.886	-	2.886
Zona da Mata, Jequitinhonha, Mucuri, Rio Doce, Central e Norte	32.990	89.949	376.206	929.811	5.553	30	5.583
Espírito Santo	26.698	87.717	493.958	1.077.176	2.056	6.014	8.070
São Paulo	15.893	57.659	221.040	496.972	3.223	-	3.223
Paraná	6.935	33.105	106.380	328.710	1.435	-	1.435
Bahia	2.415	3.900	97.175	252.196	1.407	405	1.812
Rondônia	6.300	12.455	165.910	328.000	-	1.772	1.772
Mato Grosso	2.500	6.250	34.500	82.800	40	270	310
Pará	1.400	3.500	22.600	56.500	-	330	330
Rio de Janeiro	500	1.400	13.970	24.380	288	10	298
Outros	500	1.300	28.600	68.640	180	295	475
Brasil	219.646	630.289	2.217.666	5.324.482	23.818	9.126	32.944

Fonte: CONAB (2006)

Em volume produzido de café, o Estado de Minas Gerais é o principal produtor, responsável por 46% do total de café beneficiado produzido no Brasil e 64% do total de café arábica. O Estado do Espírito Santo está em segundo lugar, responsável por 24% do total de café beneficiado produzido e 66% do total de café robusta. E o Estado de São Paulo é o terceiro, com 10% do total de café beneficiado produzido e 14% do total de café arábica.

Moricochi et al. (2002) citam que há, atualmente, 100 milhões de hectares apropriados ao cultivo do café do ponto de vista agro-climático, cuja exploração é viável devido ao valor agregado da cultura, aliada à facilidade da mobilização dos recursos produtivos, como máquinas e equipamentos. Apesar disso, de 1961 a 2005, houve redução de 47% na área plantada e de 2% no volume produzido (vide Figura 2). Mesmo assim, em 2005, o país foi responsável por 28% da produção mundial.

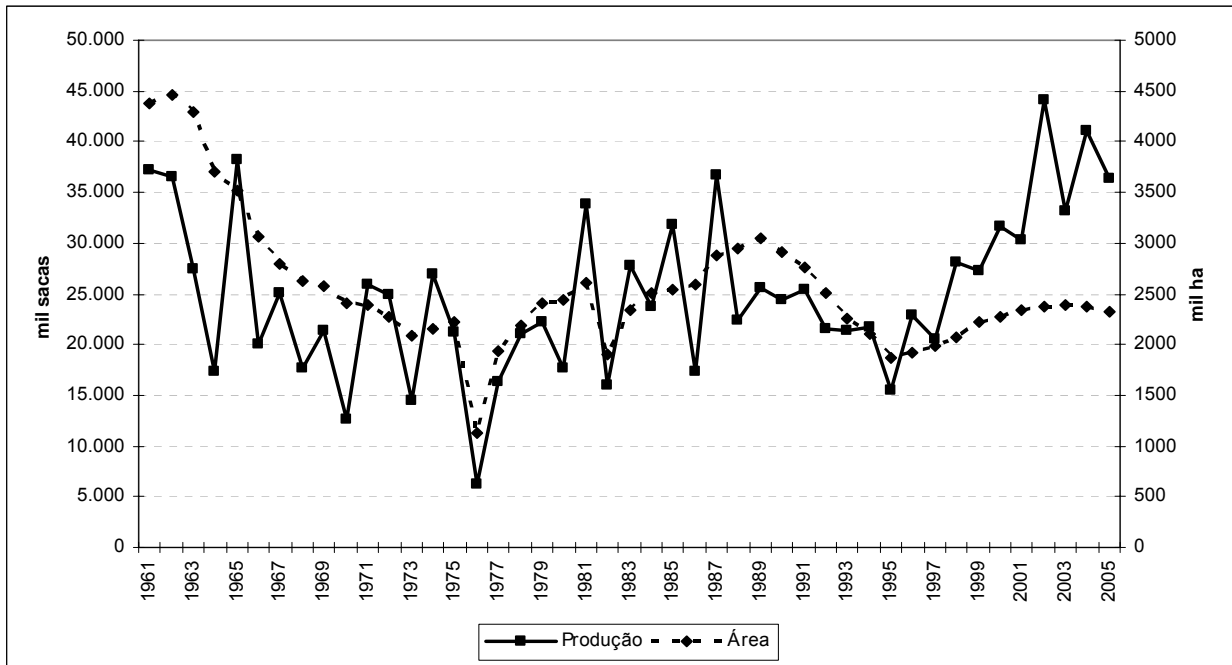


Figura 2 - Evolução da produção (mil sacas de 60 quilogramas) e da área plantada (mil hectares) com café no Brasil, 1961 a 2005

Fonte: Elaborado a partir de dados da FAO.

Nesse mesmo período, o ganho de produtividade foi de 84%, passando de 8,5 sacas/ha em 1961 para 15,6 sacas/ha em 2005 (vide Figura 3). Isso foi possível graças à incorporação de novas tecnologias no processo produtivo. Segundo Moricochi et al. (2002), nas regiões mais tecnificadas encontram-se produtores com produtividade de mais de 50 sacas/ha, sendo comuns médias acima de 30 sacas/ha.

Ao incrementar o uso de tecnologia na produção é importante que haja, em paralelo, melhorias na sua gestão. Os investimentos realizados deverão ser recuperados ora por um aumento da produção ora por uma redução do custo. É preciso também haver a correta alocação dos recursos disponíveis na propriedade. Isso permitirá um maior aproveitamento do potencial produtivo e o aumento da rentabilidade da atividade.

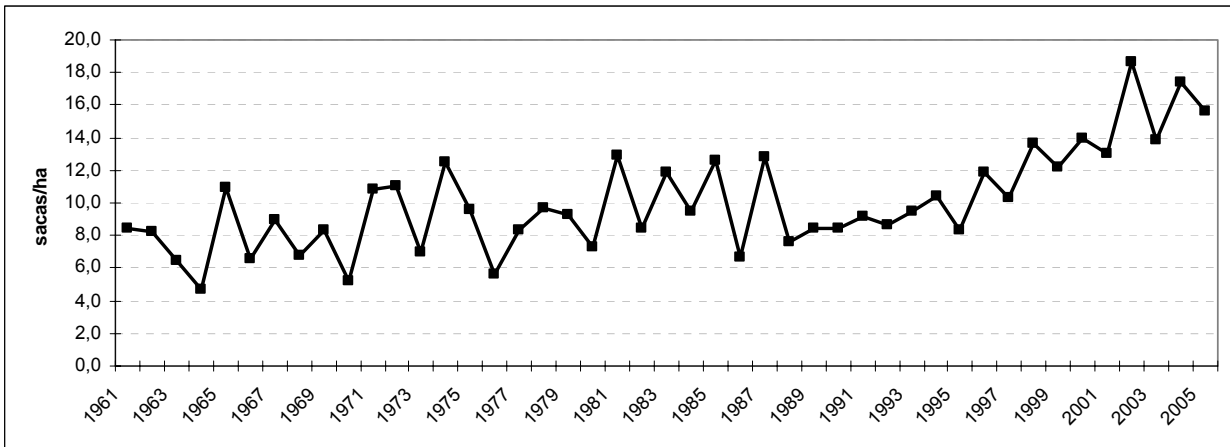


Figura 3 - Evolução da produtividade (sacas/ha) do café brasileiro, 1961 a 2005

Fonte: Elaborado a partir de dados da FAO.

As preocupações do cafeicultor também devem estar voltadas aos fatores externos que o afetam diretamente. O que se observa na maioria dos casos é o produtor ser fortemente impactado pelas constantes oscilações de preços no mercado internacional. Segundo Mesquita et al. (2000), elas decorrem, principalmente, da variação da oferta e da demanda mundial, da estrutura oligopsônica do mercado brasileiro e da crescente participação de fundos de *commodities* nas negociações de contratos futuros de café em bolsas de mercadorias. Essa variação dificulta o planejamento da produção do produtor, gera instabilidade no abastecimento do mercado e causa flutuações nos índices de preços.

2.1.3 A importância da qualidade para o café

Segundo Carvalho et al. (1997), a produção mundial de café está concentrada no cultivo das espécies *Coffea arabica* L. e *Coffea canephora* Pierre, esta última conhecida genericamente como café robusta. No Brasil, as principais cultivares de café arábica são: Mundo Novo, Acaiaí, Catuaí, Icatu, Bourbon, Catuaí e Rubi. Para o café robusta, as principais cultivares são o Conillon e o Apoatã.

O mercado internacional é um ambiente de extrema importância para a comercialização das safras de café brasileiras, principalmente em função da elevação da sua demanda pelo

produto nos últimos anos. Segundo Carvalho et al. (1997), recentemente, em países tradicionalmente consumidores desse produto, o aumento de renda tem refletido em um aumento na demanda por café. Em 2004, 65,5% do volume de café produzido pelo Brasil foi exportado. Os principais destinos foram países da União Européia, Estados Unidos e Japão. Alemanha e Estados Unidos adquiriram juntos 38% do volume total exportado pelo Brasil. O preço médio recebido foi de US\$ 92,26/saca de 60 quilogramas. No entanto, observa-se que países como Japão, Itália e Espanha pagaram preços significativamente maiores (vide Tabela 6).

Essa diferença no preço pago pela saca de café está relacionada com a apreciação desses países pela qualidade do café exportado. Carvalho et al. (1997) defendem que a importância da qualidade está em atender as exigências de gosto do consumidor e representar um dos fatores pelo qual o café é precificado. O entendimento sobre seu valor intrínseco permite que sua quantificação seja utilizada para sua valoração e apreciação.

Tabela 6 - Volume financeiro e físico adquirido e preço pago pelos principais compradores do café brasileiro na safra 2004/2005

Principais compradores do café brasileiro safra 2004/2005				
País	Mil US\$	Mil sacas	%	US\$/Saca
Alemanha	443.599	4.764	19%	93,11
Estados Unidos	413.909	4.613	19%	89,72
Itália	264.304	2.657	11%	99,47
Japão	204.727	1.853	8%	110,46
Bélgica	112.960	1.165	5%	96,99
Eslovênia	92.012	1.280	5%	71,88
França	89.178	931	4%	95,79
Espanha	72.548	742	3%	97,71
Suécia	65.047	684	3%	95,13
Países Baixos	47.304	501	2%	94,41
Total	2.270.209	24.607	100%	92,26

Fonte: Coffee Business (2006)

O nicho de mercado de cafés com melhor qualidade representa uma oportunidade de venda com maior valor agregado. No Brasil há um prêmio para o café arábica dos estados de

Minas Gerais e São Paulo, que são utilizados para a produção dos cafês finos, em relação ao café robusta do Estado do Espírito Santo, utilizado para a produção de cafês solúveis e *blends*.

Esse prêmio pode ser observado pela comparação dos preços do café arábica das regiões do Sul de Minas e da Mogiana com os preços do café conillon (vide Figura 4). Essa diferença está associada principalmente à diferença de qualidade e do custo de produção dos cafês.

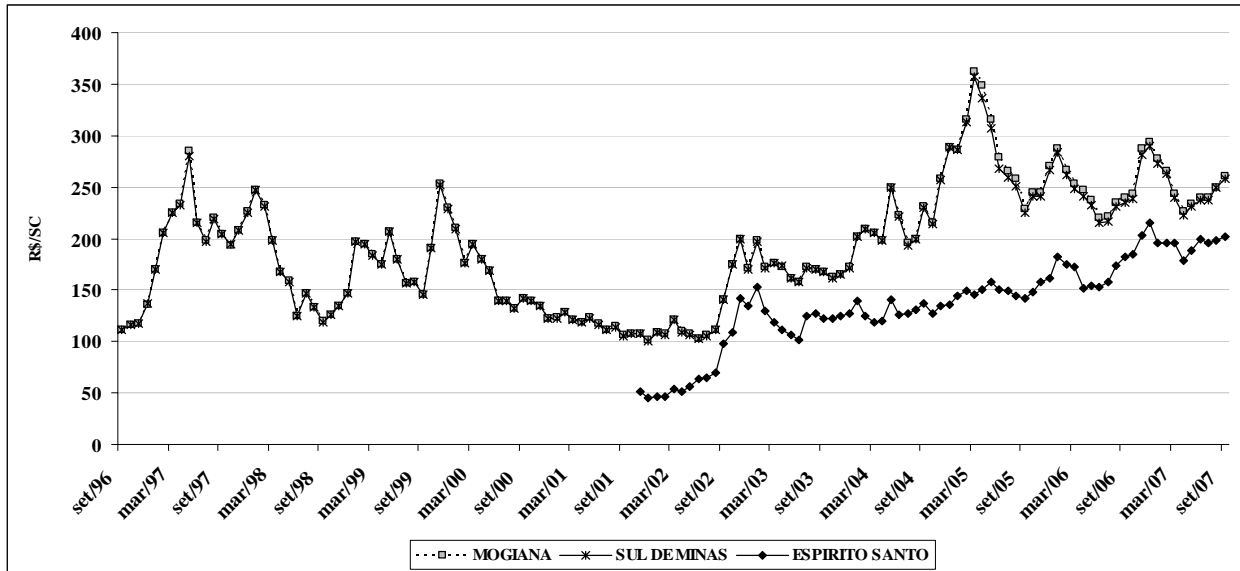


Figura 4 – Preços da saca de café nas regiões da Mogiana, Sul de Minas e Espírito Santo, setembro de 1996 a setembro de 2007

Fonte: Elaborado a partir de dados do CEPEA.

O valor do prêmio não é constante, oscilando conforme os cenários do mercado internacional para as duas espécies. Do período compreendido entre novembro de 2001 a setembro de 2007, o menor valor foi de R\$ 36,13/saca em dezembro de 2002, enquanto o maior prêmio foi de R\$ 216,60/saca em março de 2005. Desde então, o valor do prêmio tem sido reduzido em função de um aumento na demanda mundial pelo café robusta, fechando setembro de 2007 em R\$ 59,27/saca (vide Figura 5).

Os prêmios não estão restritos à diferença de qualidade por espécie, mas também entre cafês da mesma espécie cultivados em regiões diferentes. Um claro exemplo consiste na diferença de preço entre o café arábica cultivado no Sul de Minas daquele da região da Mogiana. O valor do prêmio é menor quando comparado àquele entre espécies. No período de novembro de 2001 a setembro de 2007, observa-se que a saca de café da Mogiana, no geral, apresenta maior

valor agregado do que do Sul de Minas. O menor prêmio foi de -R\$ 0,54/saca em abril de 2003, enquanto o maior foi de R\$ 12,56/saca em abril de 2005 (vide Figura 6). Nesses casos, a diferença de qualidade está associada às variações de clima, solo, topografia e sistema de produção.

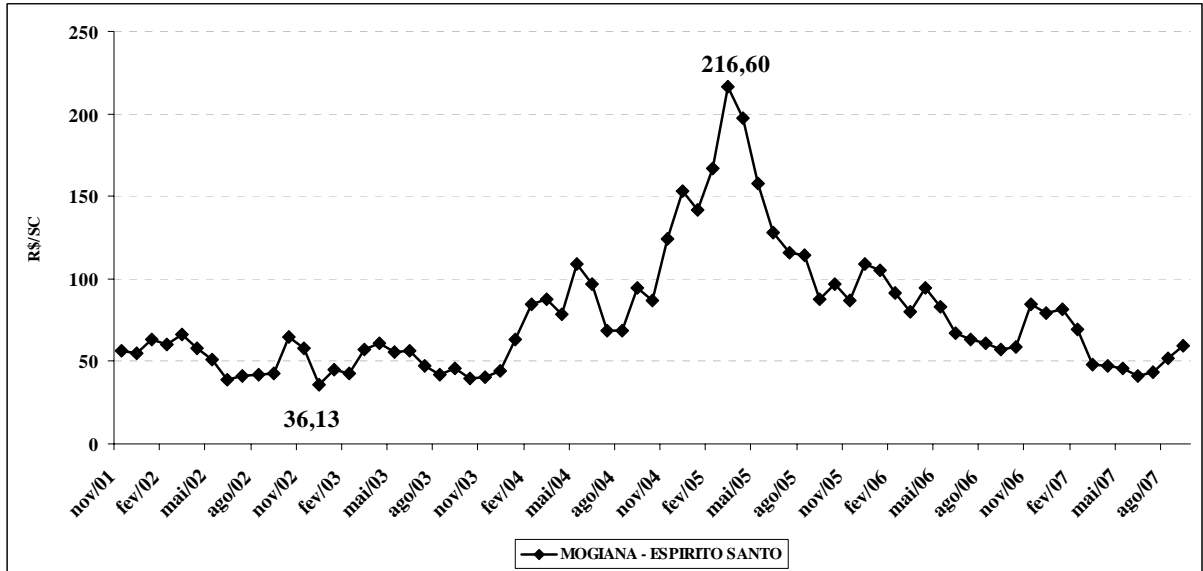


Figura 5 – Diferença de preço entre café arábica da região da Mogiana e café robusta do Espírito Santo, novembro 2001 a agosto 2007

Fonte: Elaborado a partir de dados do CEPEA.

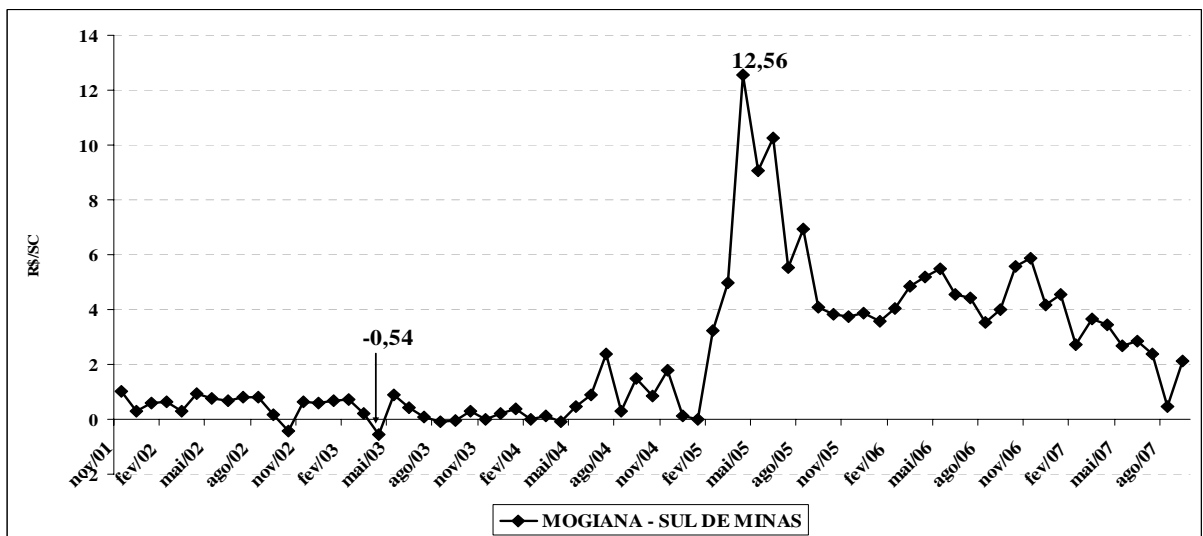


Figura 6 – Diferença do preço da saca de café arábica cultivado na região da Mogiana daquele do Sul de Minas, novembro 2001 a agosto 2007

Fonte: Elaborado a partir de dados do CEPEA.

Souza et al. (2002) citam casos em que em concursos de qualidade os preços de uma saca de café especial chegam a ter ágio de 150%, chegando até extremos de 2.100% sobre o preço normal.

De uma forma genérica, Tavares (2002) defende que a qualidade do café é definida pela satisfação do consumidor, que será determinada por três tipos de características: extrínsecas, intrínsecas e de segurança. As características extrínsecas estão relacionadas com a aparência externa: tamanho, forma, cor e textura. São os primeiros fatores decisivos no contato do cliente com o produto. As características intrínsecas estão relacionadas com a composição química dos alimentos, sendo responsáveis pelo sabor, aroma e valor nutricional. São os segundos fatores decisivos no contato do cliente com o produto. A segurança está relacionada com a presença de substâncias tóxicas inerentes à composição química do produto ou à contaminação externa pelo uso indevido de agrotóxicos, aditivos alimentares ou provenientes de contaminação microbiana.

Souza (2000), Souza et al. (2002) e Dias (2003) argumentam que os cafés especiais são valorizados pelas suas características organolépticas (corpo e aroma) e físicas distintas (origens, variedades, cor e tamanho), bem como pela produção ecologicamente correta e cultural e socialmente justa.

Para Carvalho et al. (1997), a qualidade da bebida do café depende da composição química do grão, determinada por fatores genéticos, culturais e ambientais; e dos processos de preparo, conservação do grão, torração e o preparo da bebida. Pereira et al. (2007) distingue seis características sensoriais relacionadas à qualidade do café que são percebidos durante sua ingestão:

1. **Acidez:** atributo percebido em certos cafés conforme a região produtora, clima e forma de preparo e secagem dos grãos. No Brasil, os cafés são pouco ácidos;
2. **Aroma:** são os elementos voláteis liberados pela bebida e percebido pelo olfato. São classificados em: frutado, floral, adocicado, pão torrado, ou outros. Bons cafés têm aroma pronunciado;
3. **Amargor:** é produzido por substâncias como a cafeína, trigonelina, ácidos cafeicos e químico, além de outros compostos fenólicos, devendo ser equilibrado nos cafés de melhor qualidade. A intensidade varia com o *blend*, torra e moagem. Amargor forte ou muito forte é característico em cafés de pior qualidade;

4. **Corpo:** é uma sensação na boca causada por uma persistência no paladar e que enriquece a bebida do café. Pode ser leve, normal ou intenso;
5. **Doçura:** os cafés finos têm sabor adocicado, dispensando a necessidade do açúcar. Pode variar de nula até muito boa;
6. **Sabor:** é classificado como mole, duro, riado ou rio. Mole: gosto doce, agradável, ácido. Duro: gosto amargo e adstringente. Riado: gosto ligeiramente químico. Rio: gosto químico.

Independente de quais sejam, os fatores de quantificação de qualidade citados anteriormente estão, em maior ou menor grau, relacionados com o sistema produtivo adotado para a produção do café, com os tratos culturais através dos quais as lavouras foram conduzidas e com os processos de pós-colheitas utilizados.

Cortez (2001) realizou análises sensoriais em amostras representativas de diferentes regiões, sistemas de produção e processamento agrícola, com comentários sobre possíveis indicações para sua forma de consumo, conforme a qualidade apresentada pela bebida. Os sistemas de produção se diferenciavam quanto:

- à espécie cultivada: *Coffea arabica* e *Coffea canephora*;
- ao clima da região produtora (com ênfase nas fases de colheita e pós-colheita);
- ao plantio e à condução agrícola (espaçamento, irrigação e condução orgânica);
- à colheita e ao processamento (despolpamento, cereja descascado e secagem).

Nesse contexto, Farina e Zylbersztajn (1998) citam que a produção brasileira de café envolve, basicamente, três agentes principais, diferenciados pelo tipo e qualidade de café produzido: produtores de café robusta, arábica e diferenciados ou especiais.

Há na literatura diversas classificações e termos empregados para distinguir o café com uma qualidade diferenciada. Segundo Souza et al. (2002), os cafés especiais podem ser segmentados em seis categorias:

a) **Gourmet:** está relacionado às características intrínsecas do grão verde, como aroma, sabor, corpo, acidez e sabor residual. Esse segmento depende fundamentalmente de mudanças no sistema produtivo, principalmente na etapa pós-colheita e na comercialização. É preciso que os

frutos cereja sejam separados dos verdes e secos, secados separadamente e formados lotes segregados. Mesmo em propriedades especializadas em sua produção, apenas 40% a 50% da safra pode ser vendido como tal.

b) Certificado de origem: refere-se à produção de cafés com certificação de origem do produto, com informações sobre sua procedência (nome do produtor e região), safra e classificação por bebida, tipo e peneira. Um exemplo é o Certicafé, lançado oficialmente em junho de 2007 para cafés produzidos na região do Cerrado Mineiro e examinados pelo Instituto Mineiro de Agropecuária - IMA.

c) Orgânico: refere-se aos cafés produzidos de acordo com as regras da agricultura orgânica, visando à preservação ambiental e objetivando o fortalecimento dos processos biológicos por meio de diversificação de culturas, fertilização com adubos orgânicos e controle biológico de pragas. Também pode incorporar aspectos econômicos e sociais da produção agrícola.

d) Produção familiar: refere-se ao café originado pela produção familiar. Geralmente são propriedades com área reduzida e com disponibilidade de mão-de-obra, o que permite a adoção de práticas de plantio adensado. Isso aumenta a produtividade da área e possibilita a inserção no mercado de café especiais, proporcionando maior rentabilidade ao negócio.

e) Comércio solidário (*fair trade*): refere-se ao café com padrão mínimo de qualidade, comercializado sob princípios de comércio justo ou solidário. Exemplos são os cafés adquiridos por países desenvolvidos que pagam um prêmio por consumir um café cultivado sob condições sociais e ambientais consideradas corretas.

f) *Slow food*: refere-se ao café consumido por adeptos da filosofia de comer sem pressa, apreciando o alimento, valorizando pratos típicos e ingredientes locais, produzidos de modo artesanal.

Para Tavares (2002), o termo *Café Speciality* remete para os produtos cujas origens são regiões geográficas com micro-climas específicos que produzem um grão com sabor único. Esses devem ser bem manipulados, torrados em um momento próximo ao consumo e adequadamente preparados. A definição da sua qualidade tem início na sua procedência, uma variedade específica cultivada em uma região particular do mundo, com altitude, latitude, solo e outros atributos bastante característicos. Os cultivares “typica”, “bourbon” e algumas variedades de catuaí são melhores produtores de *Café Speciality*.

Segundo a mesma autora, no mercado mundial são reconhecidos quatro tipos de cafés conforme sua origem: “Arábica não Lavados”, “Suaves Colombianos”, “Outros Suaves” e “Robusta”. A primeira categoria envolve os cafés originados, principalmente, do Brasil e da Etiópia. A segunda, da Colômbia, Quênia e Tanzânia. A terceira, os da América Central. E a quarta, os da África.

Para a autora, a difusão dos conceitos de qualidade da bebida do café em função do clima, tecnologia adotada e características sensoriais obtidas proporcionam a definição de marcas ou certificados de origem, sustentando uma campanha publicitária eficiente que atende aos diversos modos de preparo da bebida e às exigências dos consumidores.

Observa-se, portanto, que qualidade do produto, custo de produção e bom relacionamento entre parceiros internacionais têm se reforçado como parâmetros para comercialização de café. Segundo Scholer (2004), recentemente, adicionado a esses, o mercado internacional vem exigindo café com elevada qualidade, consistência (mesmas características de produto em várias entregas), rastreabilidade de origem, transparência econômica, social e ambiental, entrega em tempo hábil e capacidade de parcerias de longo prazo entre produtor e torrefadora.

Hemerly (2000) cita que essas novas exigências têm alimentado na cafeicultura a busca pela otimização do gerenciamento da propriedade. Martin et al. (1995) afirmam que isso é possível através da adoção de sistemas de produção inovadores que permitam o aumento da competitividade pela diferenciação de mercado em termos de qualidade, redução de custos via elevação de produtividade, adoção de novas tecnologias de produção e de administração eficiente do negócio.

Para tanto, é importante o estudo dos sistemas de produção de café visando identificar as principais variáveis que afetam o seu custo de produção e a produtividade da lavoura. Isso torna possível uma decisão melhor fundamentada quanto à alocação dos recursos produtivos dentro da propriedade.

2.1.4 Sistema de produção de café

As mudanças observadas nos ambientes de produção agropecuária têm exigido que os produtores adotem uma visão sistêmica do seu processo produtivo, passando a administrar as propriedades de forma integrada. O sucesso na atividade está cada vez mais dependente da agilidade e eficiência da sua administração, exigindo a adoção de um gerenciamento estratégico.

Segundo Nell e Napier (2005), o gerenciamento estratégico é a integração de todos os negócios da propriedade agrícola com uma visão de longo prazo, objetivando um sistema produtivo competitivo que esteja em harmonia com o ambiente interno e externo à propriedade. Para Carvalho (2002), sua caracterização envolve o uso de tecnologias simples e rotineiras até as mais sofisticadas técnicas de condução da lavoura.

Nell e Napier (2005) ainda defendem que o gerenciamento do processo produtivo está relacionado com um posicionamento estratégico para o futuro, processo contínuo de melhoramento, foco em fatores críticos para a obtenção de vantagens competitivas sustentáveis e adoção de uma administração estratégica que resultará em decisões responsáveis pelo sucesso no médio longo prazo da propriedade agrícola.

Dessa forma, ser um bom produtor rural vai muito além de garantir qualidade, obter boa produtividade ou manter uma criação sadia. A atividade exige o conhecimento de todos os custos envolvidos na operação. Olhar todo o ciclo da cadeia, do insumo ao varejo, leva a um bom gerenciamento e reduz riscos. Esse último é influenciado por decisões que abrangem diversos fatores: época de plantio, uso de tecnologia, investimentos, qualidade administrativa, escolha dos produtos com os quais vai se trabalhar e conhecimento de mercado.

Nesse contexto, é seguro afirmar que o sucesso na agricultura vem da atenção à gestão dos custos de produção, à capacitação do pessoal e à seleção de insumos. O desafio é encontrar o ponto ótimo que equilibre a utilização dos recursos, insumos e investimentos com o volume produzido. Segundo Nell e Napier (2005), o processo produtivo agropecuário requer recursos como mão-de-obra, solo, água, pastagens naturais, infra-estrutura produtiva, máquinas e equipamentos agrícolas, além de produtos como adubos e defensivos químicos.

Atualmente, para o sistema de produção de café, há diversas propostas para a alocação de recursos que visam maior produtividade, redução de custos, adoção de novas tecnologias e diferenciação de produto por melhora na qualidade.

Zambolim et al. (1997) argumentam que a busca por melhores sistemas produtivos em regiões geográficas mais aptas em termos de clima, solo, altitude e topografia proporcionou o surgimento de novos conceitos sobre a qualidade do café. Como exemplo os autores citam a produção no cerrado mineiro, uma região de clima seco e frio durante as fases de colheita e processamento. Sob essas condições, o ciclo da planta torna-se mais lento e regular, favorecendo a colheita mecânica, inibindo o processo de fermentação durante a secagem dos grãos e resultando em características organolépticas favoráveis aos modernos sistemas de preparo de café, como o café expresso. Além disso, a cultura vem, ao longo dos tempos, modificando-se quanto ao espaçamento e à densidade de plantas por área.

De acordo com Tavares (2002), nos últimos anos os produtores de café aumentaram a densidade do plantio e renovaram as lavouras, optando por variedades mais produtivas. Há uma tendência de migração das culturas para regiões onde não há riscos de geada e onde o preço da terra é mais barato, como na Bahia e no Cerrado Mineiro. Quando possível, os produtores estão adotando a colheita mecânica e, em regiões com problemas de seca, estão instalando sistemas de irrigação.

Cortez (2001) ilustra as significativas transformações experimentadas na cafeicultura com a introdução de variedades mais produtivas do Instituto Agrônomo de Campinas - IAC, adubações químicas e orientações técnicas do Instituto Brasileiro do Café. Embora aumento da produtividade tenha sido o foco principal, houve melhora na qualidade em função dos novos cuidados na colheita, como a colheita no pano, separação dos cafés de varrição e uso do sistema de preparo via despulpamento em regiões com problema de bebida.

Diante das inúmeras variáveis que caracterizam o sistema produtivo cafeeiro, é imprescindível identificar aquelas que mais o afeta e os impactos promovidos por suas alterações. Matiello (1995) afirma que os sistemas de produção de café podem ser caracterizados conforme a tecnologia adotada para seis variáveis: espaçamento, manejo dos tratos, condução das plantas, condições climáticas, tratos nutricionais e sistema de controle fitossanitário (vide Quadro 1).

Variáveis	Tecnologias
Espaçamento	Super-adensado, adensado, semi-adensado, renque-mecanizado, tradicional.
Manejo dos tratos	Manual, tração animal, mecanizado.
Condução das plantas	Aberto, periodicamente aberto ou com podas, sempre fechado.
Condição climática	A pleno sol, arborizado ou sombreado, irrigado.
Trato nutricional	Rotineiro (sem adubação), químico ou combinação com orgânico, só orgânico.
Sistema de controle fitossanitário	Rotineiro (sem controle), controle natural (genético ou inimigos naturais), via pulverização, via solo.

Quadro 1 - Caracterização dos sistemas de produção de café

Fonte: Matiello (1995)

Segundo Hemerly (2000), o sistema produtivo do café, o plantio de variedades mais adequadas e a adoção de espaçamentos apropriados permitem maior produtividade por área. Zambolim et al. (2000) citam que as cultivares procuradas pelos técnicos e por produtores são aquelas de cafeeiros de porte baixo, maturação uniforme, tolerantes ao estresse hídrico e às baixas temperaturas, resistentes às doenças e pragas, com alta produtividade e boa qualidade de bebida.

Em relação ao espaçamento, Matiello (1991), afirma que sua escolha se reflete na produtividade, rentabilidade e nos custos das práticas de manejo. O mesmo pode ser super-adensado, adensado, semi-adensado, renque-mecanizado ou tradicional. Sua principal influência recai sobre a mecanização das atividades de condução, principalmente sobre a colheita, que exigem espaçamentos adequados para a entrada de máquinas e equipamentos agrícolas.

Bartholo e Guimarães (1997) reforçam que a condução da lavoura deverá objetivar plantas bem nutridas e em boas condições fitossanitárias para a obtenção de grãos bem formados e constituídos. Nesse aspecto, Zambolim et al. (2000) salientam que o parque cafeeiro brasileiro é suscetível às principais doenças que atacam essa cultura. O grau de severidade com que incidem em uma lavoura está relacionado a diversos fatores ambientais, como presença de patógeno e / ou hospedeiro, ao solo (tipo, nutrientes e pH) e aos fatores predisponentes (vento, umidade, alta carga pendente de frutos, chuva, etc.). O Quadro 2 lista as principais doenças de campo que

incidem sobre o café e seus respectivos agentes causadores. A Figura 7 ilustra as fases fenológicas em que a cultura está mais suscetível a incidência das doenças.

Doenças	Agentes causais
Ferrugem do cafeeiro	<i>Hemileia vastatrix</i>
Rhizoctoniose	<i>R. solani</i>
Fusariose	<i>Fusarium spp.</i>
Mancha de phoma	<i>P. costaricensis</i>
Mancha de olho pardo	<i>C. coffeicola</i>
Mal dos quatro anos	<i>Rosellinia bunodes</i>
Seca dos ponteiros	Complexo de agentes causais
Mancha de ascochyta	<i>A. coffea</i>
Mancha aureolada	<i>P. syringae</i> pv. <i>Garcae</i>
Nematóides	<i>Meloidogyne exigua</i>
	<i>M. incognita</i>
	<i>M. paranaensis</i>
	<i>M. coffeicola</i>

Quadro 2 - Principais doenças de campo da cultura do café e seus respectivos agentes causais

Fonte: Zambolim et al. (2000)

Doenças	Fases Fenológicas												
	Florescimento			Formação dos Frutos					Maturação e Colheita				
	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO
Período das chuvas		X	X	X	X	X	X	X					
Ferrugem					X	X	X	X	X	X	X		
Mancha de <i>Phoma</i>		X	X	X	X								
Mancha de Olho Pardo					X	X	X	X	X				
Mancha de <i>Ascochyta</i>		X	X	X	X				X	X	X	X	
Seca dos Ponteiros	X	X	X										
Fusariose			X	X	X	X	X	X					
Mancha Aureolada			X	X	X				X	X	X		
Mal dos Quatro Anos					X	X	X	X	X	X	X	X	
Nematóides	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Figura 7 - Fases fenológicas críticas de ataque das doenças no cafeeiro em condições de campo

Fonte: Zambolim et al. (2000)

Bartholo e Guimarães (1997) ainda afirmam que as práticas de manejo inadequadas levam à produção de grãos defeituosos, bem como queda na produtividade e na qualidade. Dechen e Costa (1994) salienta que a erosão dos solos e seus desequilíbrios químicos, um controle fitossanitário mal feito ou ausente, a presença de nematóides no solo, a colheita e preparo do café efetuado sem os devidos cuidados e a grande proporção de lavouras velhas e mal conduzidas, resultam em um produto de baixa qualidade.

Segundo Hemerly (2000), os processos de colheita e pós-colheita são identificados como os mais importantes influenciadores das características físicas e organolépticas do café. A falta de cuidados específicos nessas fases pode comprometer de forma irreversível a qualidade final da bebida.

Segundo Matiello (1991), a colheita deve ocorrer quando os frutos de café estiverem em sua fase cereja (maduro) de maturação, pois já acumularam a maior quantidade de matéria seca, atingindo seu máximo desenvolvimento e ainda não sofreram influências negativas por fermentações indesejáveis. Seu início deve acontecer quando a lavoura (ou determinado talhão) possuir frutos, em sua maioria, maduros e com pequena porcentagem de frutos verdes (menos de 20%) e/ou secos. A colheita adiantada trará um elevado número de frutos verdes e a colheita atrasada aumenta o número de frutos secos (que podem ser pretos, ardidos, e/ou brocados). Ambos os casos deterioram a qualidade final da bebida.

Hemerly (2000) contabiliza três possíveis alternativas para o sistema de colheita de café: manual, semi-mecanizado ou mecanizado. Esse último tem sido adotado como uma das estratégias para maior competitividade pois, segundo Silva et al. (1997), reduz o custo operacional e permite a obtenção de um produto final de melhor qualidade.

Dias (2003) descreve que os tratamentos primários de pós-colheita também são diferenciados conforme o grau de maturação com que o grão foi colhido. Segundo Bartholo e Guimarães (1997), o café pode ser processado por via seca ou úmida. A primeira é a prática mais comum, em que o grão é seco em sua forma integral. A segunda é indicada para regiões que apresentam problemas quanto à qualidade do café e é caracterizada pelo despulpamento do grão.

Para Tavares (2002), a comercialização representa a última operação da produção. É nessa etapa em que ocorre a ligação entre produtores e consumidores. Nell e Napier (2005) complementam que ela influencia os objetivos do produtor por estar intimamente ligada ao lucro

a ser obtido na venda. É preciso, portanto, que seja dada atenção ao mercado de negociação, ao preço, à qualidade e ao volume do produto a ser comercializado.

Nesse contexto, Nell e Napier (2005) afirmam que um bom modelo de gestão permite que o produtor identifique vantagens competitivas e pontos de melhoria em sua propriedade e em seu processo produtivo. As mudanças experimentadas na agricultura tornam oportunos estudos de planejamento estratégico que afetam diretamente a operacionalização da produção futura.

Diante da exposição dos cafeicultores às oscilações dos preços do café no mercado externo, do aumento da concorrência e da nova configuração de exigências de qualidade para o produto do café, esta dissertação tem como desafio sugerir um modelo matemático que otimize um sistema produtivo de café voltado para a produção de grãos diferenciados com atributos que atendam as atuais demandas do consumidor internacional.

Esse modelo deverá auxiliar na gestão, no planejamento estratégico e em tomadas de decisões de forma a agregar valor ao produto e aumentar a margem de rentabilidade do cafeicultor. Para tanto, buscou-se na literatura estudos que evidenciam a aplicação da pesquisa operacional na agricultura, visando a otimização do gerenciamento da produção em uma propriedade agrícola, os quais são detalhados na próxima seção.

2.1.5 A pesquisa operacional aplicada à agricultura

São abundantes na literatura os trabalhos envolvendo a aplicação da pesquisa operacional para aperfeiçoar alguma atividade produtiva. No campo da agricultura, os números são modestos, restringindo-se mais ainda quando se trata da cultura do café.

Na cadeia agroindustrial do café, os modelos matemáticos têm sido usados para quantificar e analisar os efeitos de diferentes medidas de controle exercidas no mercado internacional do café (TEIXEIRA; CHATTIN, 1981); modelar os preços *spot* de vários tipos de café, identificando suas inter-relações ao longo do tempo (OTERO; MILAS, 2001); analisar riscos econômicos em projetos de irrigação (SOUZA, 2001); mapear a produtividade da colheita mecanizada e analisar a variabilidade espacial da cultura (LEAL, 2002); e para a identificação de

fatores críticos na atividade de pulverização (NAGUMO et al., 2004). Não foi encontrado um trabalho que tratasse especificamente da otimização da produção.

Diante dessa limitação, foi priorizado o levantamento de literatura que envolvesse o uso da pesquisa operacional ou a modelagem matemática de otimização para a melhoria do gerenciamento de propriedades agrícola produtoras de culturas perenes, dado que essa também é a natureza da cultura do café. De uma maneira geral, estão descritos trabalhos que visam otimizar o planejamento estratégico, principalmente da atividade da colheita, de culturas florestais, laranja e cana-de-açúcar.

Barata (1992) utilizou a programação linear para desenvolver um modelo de otimização para a avaliação técnico-econômica da questão do corte e da reforma da cultura da cana-de-açúcar. Esse modelo buscou auxiliar as tomadas de decisão anuais de técnicos ligados ao planejamento canavieiro, melhorando o gerenciamento da propriedade como um todo.

Caixeta Filho (1993) elaborou uma estrutura de modelagem utilizando a programação linear para a colheita de laranja considerando a logística do processo, bem como as características específicas dos pomares e dos frutos. Essas últimas permitiram que o modelo matemático elaborado também garantisse uma melhor qualidade de suco produzido.

Em seu artigo, Nevo et al. (1994) apresentam o CROPLAN, um modelo matemático de programação linear que utiliza o método Simplex para a otimização do gerenciamento da produção em uma propriedade agrícola. Trata-se de um sistema protótipo cujo objetivo é evidenciar os conceitos utilizados para o problema de planejamento através da visualização de um sistema integrado e do estabelecimento da viabilidade de mecanização. Para tal, introduz parâmetros significativos para o processo de produção agrícola.

Koning et al. (1995) descrevem os métodos utilizados nos estudos conduzidos pelo Conselho Científico Holandês para Políticas Governamentais - WRR para determinar as entradas de insumos e a produção resultante em sistemas agrícolas regionais. O WRR avaliou os potenciais de diferentes cenários agrícolas para atingir metas de produção, socio-econômicas, ambientais e de conservação da natureza e da paisagem. Para tanto, utilizou-se um modelo de programação multiobjetivo alimentado com coeficientes técnicos, que mostrou-se uma eficiente ferramenta de apoio na elaboração de políticas agrícolas para a União Européia.

Visando apresentar um sistema de planejamento gerencial para a otimização da colheita florestal, Fidelis e Reis (2001) desenvolveram um modelo matemático utilizando a técnica de programação inteira mista para apoiar a elaboração do cronograma de colheita florestal, no qual são definidas quais as glebas disponíveis para corte, quais deverão ser colhidas e em qual seqüência. O modelo também permitiu a determinação da produtividade ótima de cada gleba e a produtividade mínima a partir da qual sua colheita é economicamente viável.

Annetts e Audley (2002) apresentam um modelo de programação linear multiobjetivo para a otimização do planejamento ambiental de uma propriedade agrícola. O modelo ajusta a época adequada para a realização das operações de condução da lavoura à rotação de culturas de acordo com a disponibilidade de mão-de-obra e maquinário, obtendo um planejamento anual equilibrado. A produtividade e os ganhos ambientais são relacionados com variáveis como tipo de solo e período de condução das operações, ritmo de trabalho ao tipo de maquinário e de solo e, dias trabalháveis com a operação sendo desenvolvida. De uma forma particular, o modelo permite analisar as interações entre ganhos ambientais, rentabilidade e gerenciamento da propriedade agrícola.

Ohman e Lama (2003) apresentaram um modelo para agregação de colheitas no espaço e no tempo em um planejamento florestal de longo prazo. Para tanto, utilizaram uma técnica heurística denominada *simulated annealing*, com o intuito de determinar o valor presente líquido das atividades futuras de manejo da floresta e o volume de madeira a ser colhido, dada a restrição de que um certo volume de madeira deveria ser colhido a cada período.

Silva (2004) utilizou um modelo computacional de simulação para analisar as estratégias logísticas em sistemas de colheita de cereais visando otimizar o planejamento da atividade, focando a capacidade efetiva da frota de maquinário e o nível de eficiência da operação, promovendo redução de custos.

Gunnarsson e Hansson (2004) analisaram os impactos econômicos sobre o sistema de maquinário quando uma propriedade agrícola deixa de adotar o cultivo tradicional em favor do orgânico. Para tanto, os autores utilizaram um modelo de otimização para o cálculo do custo do maquinário baseado em programação linear inteira mista desenvolvido por Nilsson (1976, apud GUNNARSSON; HANSSON, 2004). Esse método foi utilizado de 1978 a 1986 por,

aproximadamente, 340 fazendas na Suécia para a otimização da utilização de seus sistemas de maquinário.

Ducheyne et al. (2004) estudaram a aplicação de um algoritmo genético para um único objetivo e para múltiplos objetivos em um mesmo problema de programação de colheita florestal. Os autores concluíram que o segundo método apresenta melhor desempenho em termos de eficiência computacional e por retornar um vetor de soluções ao longo da curva de Pareto, ao invés de retornar uma única solução, como no caso da aplicação do algoritmo genético para um único objetivo.

Kangas e Kangas (2005) analisaram os benefícios do uso de métodos multi-critérios para apoio de decisão no manejo florestal, sugerindo que o método a ser adotado deve se adequar ao processo de planejamento que se deseja e que, dependendo da situação, é vantajoso o uso de mais de uma técnica, uma vez que esse procedimento pode vir a melhorar a eficiência do planejamento.

Higgins (2006), através de um estudo de caso, foca o desenvolvimento e implementação de um modelo de programação linear inteira mista para a programação de veículos para a coleta da cana-de-açúcar nas propriedades agrícolas e seu transporte até as usinas na cidade de Maryborough, Austrália, visando a redução dos custos de produção.

Diante da escassez na literatura de trabalhos envolvendo a pesquisa operacional na otimização da atividade de produção de café e dada a importância social e econômica dessa cultura para o Brasil, tornam-se relevantes os estudos que auxiliem em seu gerenciamento e agreguem valor a esse produto, principalmente diante do novo cenário comercial internacional do café que tem se consolidado nos últimos tempos.

2.1.6 Otimização

Segundo Nocedal (1999), a otimização é uma importante abordagem para a tomada de decisão e para a análise de sistemas físicos. Para sua utilização é necessário estabelecer um objetivo como medida quantitativa de desempenho do sistema produtivo sob análise. O objetivo pode ser lucro, tempo, potencial energético ou qualquer quantidade ou combinação de

quantidades que possa ser representada por um único valor. Ele dependerá de certas características intrínsecas ao sistema, denominadas de variáveis, que muitas vezes são restritas. É preciso determinar os valores dessas variáveis que otimizem o objetivo.

Os autores também descrevem que o processo de identificação do objetivo, das variáveis e das restrições para um problema específico é conhecido como modelagem. A construção de um modelo adequado é o primeiro e o mais importante passo no processo de otimização. Um modelo demasiadamente simples não fornecerá enfoques estratégicos sobre o problema, enquanto modelos muito complexos podem ser de difícil resolução.

Os produtores buscam otimizar seus sistemas e operações para maximizar a eficiência do seu processo produtivo, além de visar identificar as opções estratégicas viáveis diante dos recursos disponíveis. Os sistemas agrícolas modernos evoluíram bastante devido aos avanços tecnológicos na área, como máquinas e implementos, fertilizantes, pesticidas e novas variedades de plantas com melhor potencial genético. Isso permitiu o aumento na escala de produção e maior especialização operacional, tornando o planejamento da propriedade mais complexo e mais importante.

De acordo com Glen (1987), a experiência tem sido a base tradicional para o planejamento agrícola e tomadas de decisão dentro da propriedade. Entretanto, Hengsdijk e Ittersum (2002) citam que o aumento das preocupações em relação à preservação dos ecossistemas e dos recursos naturais, a elevação das pressões sobre os sistemas produtivos, suas especializações e a adoção de sistemas capital-intensivos, estimulam o uso de métodos formais de planejamento que envolve a construção e análise de modelos matemáticos no gerenciamento agrícola. Apenas métodos quantitativos podem avaliar as complexas interações entre produção agrícola, meio ambiente e viabilidade econômica, auxiliando nas tomadas de decisão.

Nesse sentido, Avriel e Golany (1996) citam que a introdução de ferramentas de pesquisa operacional para auxiliar as decisões analíticas permitiu uma maior difusão e utilização de modelos de programação matemática, visando incrementar a qualidade do gerenciamento da produção.

Glen (1987) afirma que os modelos de planejamento da propriedade agrícola geralmente envolvem objetivos financeiros, como a maximização do lucro; e restrições que reflitam objetivos não financeiros, como tipo de culturas que podem ser adotadas. Eles também devem considerar

os métodos de produção disponíveis, que freqüentemente se identificam como uma seqüência sazonal de operações que exigem equipamentos e mão-de-obra especializada. Ressalta-se que, na medida do possível, os modelos devem incorporar algumas preferências do agricultor.

No caso de culturas perenes - como o café - os manejos e as atividades para a sua condução são bastante particulares. Hengsdijk e Ittersum (2002) adotam dois conceitos para caracterizar um sistema de cultura perene: a forma de uso do solo, definida como uma combinação da cultura utilizada e técnicas de produção; e o ambiente físico, envolvendo uma área uniforme em termos de clima e de características de solo. Os autores utilizam o termo sistema de uso do solo como a menor unidade de análise em que fatores agrônômicos, ambientais e econômicos se unem e interagem. Ele também é definido como uma combinação de formas de uso do solo em um ambiente físico bem definido que é unicamente caracterizado pelos insumos recebidos, por sua produção e possivelmente por inovações como sistemas de irrigação e drenagem.

Os mesmos autores ainda citam que a combinação dessas possibilidades biofísicas, a viabilidade técnica e os objetivos traçados resultam em uma janela de oportunidades, indicando um leque de escolhas a partir do qual serão tomadas as decisões estratégicas de atuação. Nesse sentido, as opções de uso da terra devem considerar duas importantes condições. Primeiramente, elas devem ser possíveis do ponto de vista biofísico e viáveis tecnicamente. Em segundo lugar, elas devem incorporar uma variedade de alternativas contrastantes para que nenhuma opção seja excluída precipitadamente.

Em seu trabalho, Glen (1987) divide em quatro seções o estudo e discussão dos modelos de produção agrícola. A saber: a) determinação das políticas de produção, b) métodos de planejamento das operações de colheita, c) técnicas de avaliação de investimento de capital e d) métodos de avaliação de estratégias de controle de pragas e doenças.

Annetts e Audsley (2002) afirmam que para o planejamento de uma propriedade agrícola, as informações disponíveis podem ser divididas em características da fazenda, culturas, sistemas maquinários, máquinas, rebanhos, ração e descartes. Podem também ser identificados quatro grupos básicos de restrições: a) limites no tempo de maquinário disponível para cada período do ano; b) restrição quanto à área total cultivada; c) necessidade de seqüenciamento das operações

de condução da lavoura, incluindo a rotação de culturas e; d) pastagem de rebanhos e limite de quantidade de ração.

Hengsdijk e Ittersum (2002) afirmam que na busca pela determinação da combinação técnica ótima de insumos que resultará no objetivo de produção, os insumos primários, água e nutrientes cumprem papéis essenciais no crescimento e desenvolvimento das plantas e animais, não podendo ser substituídos. Insumos secundários, máquinas e implementos e mão-de-obra têm diferentes papéis no processo de produção e, até certo ponto, podem ser substituídos de acordo com os objetivos a serem atingidos.

No entanto, o sucesso de um modelo matemático para a otimização do gerenciamento de uma propriedade agrícola não se resume em identificar as suas alternativas relevantes, os grupos básicos de restrições ou dividir em categorias as características que compõem o sistema produtivo analisado. Lara e Stancu-Minasian (1999) ressaltam que o uso bem sucedido da modelagem matemática para a solução de problemas práticos depende de alguns fatores adicionais. Primeiro, a capacidade do pesquisador em elaborar um modelo adequado para o sistema estudado. Segundo, a existência de um algoritmo amigável para a solução do modelo. Terceiro, os estudos empíricos confirmando a capacidade do modelo em solucionar problemas reais. E quarto, a existência de ferramentas adequadas para a implantação do algoritmo e solução do modelo em tempo hábil. Esse último não é de grande relevância atualmente dado o acesso cada vez mais facilitado a computadores portáteis e eficientes.

Há ainda o desafio de se conciliar duas propriedades antagonistas dos modelos: simplicidade e realidade. Modelos simples têm a vantagem de serem de fácil resolução. Entretanto, é preciso também que incorporem as características de riscos dos sistemas agrícolas e a complexidade das decisões.

Koning et al. (1995) ressaltam a importância de se incorporar ao modelo questões relativas à aplicação de insumos, produtividade, tratamento fitossanitário, mão-de-obra e disponibilidade de máquinas agrícolas. Segundo os autores, as diferenças de aplicações de insumos e produtividade - costumeiramente expressos em quantidade ou tempo por hectare - entre as regiões devem refletir na prática as restrições físicas que não podem ser eliminadas, sendo, portanto, fundamentadas em condições climáticas e de propriedades dos solos.

Na análise dos tratamentos químicos (herbicidas, inseticidas, fungicidas, nematicidas e reguladores de crescimento) deve-se atentar à variedade de produtos disponíveis no mercado e à diversidade dos que são realmente aplicados nas propriedades. A quantidade utilizada relaciona-se com as condições climáticas, textura do solo e produtividade desejada, baseada no conhecimento técnico.

Em relação à necessidade de mão-de-obra que varia conforme a tarefa a ser realizada, o tempo dispendido em uma operação deve ser proporcional ao trabalho de um homem adulto trabalhando em ritmo normal utilizando equipamento padrão. Operações de aplicação de insumos exigem tempo de mão-de-obra proporcional à quantidade aplicada, enquanto tempo para colheita e transporte são proporcionais à produtividade.

Para calcular o tempo de maquinário necessário para realização das operações, bem como do tempo disponível é preciso determinar a área viável para cada máquina e equipamento. Os autores destacam que, para cada hora necessária para um equipamento que não seja auto-propelido, é necessário um número equivalente de horas de trator.

Observa-se que a complexidade do sistema agrícola faz com que, em diversas situações, as suas atividades se tornem antagonistas, como a busca por aumento de produtividade simultaneamente ao desejo de redução de custos.

Coello (2002) cita que os problemas de otimização normalmente são constituídos por múltiplos objetivos (geralmente conflitantes), o que caracteriza a otimização multiobjetivo.

Avriel e Golany (1996) afirmam que as várias técnicas de programação multiobjetivos são úteis para a resolução de problemas em que a melhoria advinda ao se atingir um objetivo ocorre em detrimento de se atingir outros.

Segundo Coello (2002), problema da otimização multiobjetivo consiste em:

Maximizar ou Minimizar:

$$f(x) = [f_1(x), f_2(x), \dots, f_k(x)] \quad (1)$$

sujeito a m desigualdades de restrições:

$$g_i(x) \geq 0 \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (2)$$

e p igualdades de restrições:

$$h_i(x) = 0 \quad i = 1, 2, \dots, p \quad (3)$$

em que k é o número de funções objetivo $f_i: \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}$ e $x = [x_1, x_2, \dots, x_n]^T$ é o vetor de variáveis de decisão. Assim sendo, deseja-se determinar dentre o conjunto F de todos os valores que satisfazem as equações 2 e 3 o vetor específico $x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*$ que otimiza os valores de todas as funções objetivos (equação 1).

O autor afirma que é raro o caso em que um único ponto otimize simultaneamente todas as funções objetivos. Dessa forma, adota-se mais comumente a noção de Pareto ótimo (COELLO, 2002).

Diz-se que o vetor de variáveis de decisão $x^* \in F$ é Pareto ótimo se não existir outro $x \in F$ de forma que $f_i(x) \leq f_i(x^*)$ para todos $i = 1, \dots, k$ e $f_j(x) < f_j(x^*)$ para pelo menos um j (Coello, 2002), ou seja, a definição pressupõe que $x^* \in F$ é Pareto ótimo se não existir outro vetor de variáveis de decisão $x \in F$ que reduz algum critério sem ocasionar simultaneamente um aumento em pelo menos um outro critério. No entanto, esse conceito geralmente não traz um único ponto como solução ótima, mas sim um conjunto de soluções denominado *conjunto Pareto ótimo*. Os vetores correspondendo às soluções inclusas no conjunto Pareto ótimo são denominados não-dominados. A representação das funções objetivos cujos vetores não-dominados estão inclusos no conjunto Pareto ótimo é denominada curva de Pareto.

Hayashi (2000) resume algumas características encontradas na literatura quanto à escolha dos critérios a serem analisados nos modelos de programação multiobjetivo: (1) A escolha dos objetivos a serem perseguidos pode ser feita por dois métodos: compensatório e não-compensatório. No primeiro, múltiplos atributos são agregados em valores através das funções utilidades. No segundo, os atributos são agregados de acordo com uma classificação, em que uma alternativa pode ser melhor, pior ou tão boa quanto à outra; (2) Os critérios podem ser agrupados em um único elemento, como implementos e máquinas, ou como um conjunto de elementos, como uma estratégia a ser adotada; e (3) São relativamente poucos os critérios básicos analisados em um modelo.

O mesmo autor elenca as principais características dos modelos de programação multiobjetivo para o planejamento da propriedade agrícola: (1) os modelos não são extensos, apresentando um número máximo de seis objetivos perseguidos e um mínimo de dois, sendo que não há uma clara distinção entre objetivo e restrição; e (2) a programação multiobjetivo pode ser utilizada para analisar diversos tipos de propriedades agrícolas: de subsistência, familiar,

cooperativa e empresarial. O autor também apresenta uma lista dos principais objetivos perseguidos nos estudos pesquisados, apontando duas claras tendências entre eles: (1) a relação dos objetivos com o retorno de investimento ou trabalho; e (2) o duplo propósito da programação multiobjetivo: planejar um processo operacional mais prático e tornar o planejamento mais realista.

Zander e Kachele (1999) apresentaram um modelo de programação linear multiobjetivo como ferramenta de apoio para o gerenciamento de agroecossistemas (*Multi-Objective Decision support tool for Agroecosystem Management – MODAM*), semelhante a um modelo de programação linear, com uma estrutura matricial solucionada pelo método Simplex. O modelo consiste de cinco níveis hierárquicos de módulos relacionados: o primeiro gera os coeficientes técnicos; o segundo calcula os coeficientes econômicos, dado um cenário de técnicas de produção; o terceiro avalia efeitos ecológicos dessas técnicas de produção; o quarto é a formulação do modelo de programação linear multiobjetivo; e o quinto é a solução do modelo em uma ferramenta computacional (vide Figura 8).

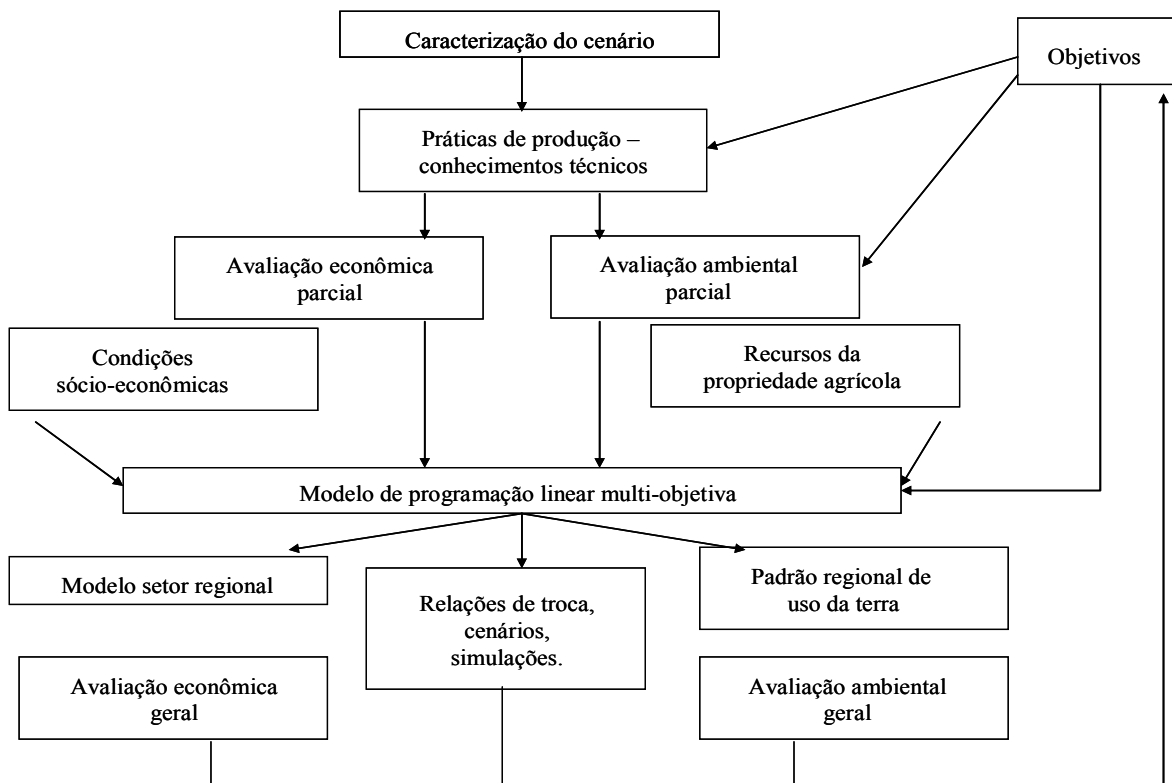


Figura 8 - Definição interativa dos objetivos nos módulos do MODAM

Fonte: Zander e Kachele (1999)

Assim, diante das características e vantagens apontadas para a programação multiobjetivo, observa-se a viabilidade e os potenciais retornos advindos da elaboração de um modelo matemático de programação-linear multiobjetivo para ser utilizado como ferramenta de gestão de uma propriedade agrícola produtora de café, auxiliando nas tomadas de decisão para a otimização da produção.

2.2 Metodologia

Neste capítulo é apresentada uma proposta de modelo matemático multiobjetivo para a otimização de cafés finos, assim como os dados empíricos coletados junto à Fazenda Santa Maria da Boa Vista.

2.2.1 Material¹

A Fazenda Santa Maria da Boa Vista, localizada no município de Cristais Paulista, possui uma área de 58,7 ha, subdividida em oito talhões que, no total, contêm 35.140 pés de café plantados sob um latossolo de textura média-arenosa. Os talhões são caracterizados pelas variedades de café plantadas, pela idade da lavoura e pelo espaçamento adotado. O talhão 5, por exemplo, apresenta um espaçamento adensado (vide Tabela 7). As Tabelas 7 e 8 ilustram os manejos de adubação e controle fitossanitário conduzidos na safra 2005/06 para uma produção estimada de 2.270 sacas de café.

As quantidades aplicadas de calcário, macronutrientes e micronutrientes foram calculadas baseadas em análises de solo e no histórico de manejo dos talhões. Os produtos utilizados para o controle fitossanitário (pragas, doenças e plantas daninhas) foram aplicados preventivamente ou conforme o aparecimento dos problemas fitossanitários.

¹ Visando preservar o sigilo da identidade das empresas e dos produtos nos dados empíricos obtidos, optou-se pela codificação dos mesmos ao longo do texto (A1, A2, ...; C1, C2,; P1, P2,).

Tabela 7 - Espaçamento adotado, número de pés por lavoura, área, previsão de safra, calagem, adubação e controle fitossanitário na safra 2005-06 na Fazenda Santa Maria da Boa Vista

Talhão	Espaçamento (m)	Nº pés	Área (ha)	Previsão safra (sc/ha)	Calcário (kg/ha)	Adubação Macronutrientes (kg/ha)				Adubação Micronutrientes		Controle Fitosanitário	
						A1	A2	A3	A4	A5	A6	Via Solo (kg/ha)	C1
1 Estrada	3,80 X 0,70	3.759	5,7	75	3.038	100	1.700	700	0	0	5	0	0
2 Café TT	3,80 X 0,70	3.759	10,0	23	8.717	100	2.000	350	0	40	5	22	0
3 Catucaí	3,60 X 0,70	3.968	2,5	40	0	0	1.700	350	0	0	0	0	0
4 Café Adensado	3,60 X 0,60	4.630	4,0	0	2.307	100	1.600	0	310	0	0	0	0
5 Catucaí Novo	1,75 X 0,70	8.163	5,0	95	0	0	2.000	700	0	40	0	3,9	50
6 Café Óleo	3,60 X 0,70	3.968	5,4	24	0	0	2.300	0	0	0	0	7,9	0
7 Café CC	3,80 X 0,90	2.924	9,2	47	0	100	2.000	700	0	0	5	8,4	0
8 Café Jacarandá	3,60 X 0,70	3.968	16,9	28	0	100	2.000	350	0	0	5	7,9	0
Total geral		35.140	59	-	14.062	500	15.300	3.150	310	80	20	50	50

Fonte: Dados fornecidos pelo produtor.

A1 - adubo 1; A2 - adubo 2; A3 - adubo 3; A4 - adubo 4; A5 - adubo 5; A6 - adubo 6.

C1 - insumo para controle fitossanitário 1; C2 - insumo para controle fitossanitário 2.

No solo, foram aplicados 113.673 kg de calcário distribuídos entre os talhões 1, 2 e 4; 4.583 kg, 115.039 kg, 24.249,7 kg e 1.239 kg dos adubos A1, A2, A3 e A4, respectivamente, para fornecimento dos macronutrientes; 600 kg de A5 aplicados nos talhões 2 e 5 e 209 kg de A6 nos talhões 1, 2, 7 e 8 para adubação de micronutrientes; 493 kg de C1 nos talhões 2, 5, 6, 7 e 8 para controle da conchonilha da raiz e nematóides e 250 kg de C2 para controle da broca do café no talhão 5 (vide Tabela 7).

Via foliar foram aplicados 479 kg, 160 kg, 52 kg e 48 kg de P1, P2, P3 e P9, respectivamente, que atuam como fungicidas; 74 kg de P4, um produto químico que induz a resistência da planta; 16 kg do inseticida P5; 399 kg de P6, um óleo vegetal que é aplicado junto com fungicidas e inseticidas; 359 kg de P7, 239 kg de P8 e 120 kg de P10, produtos fornecedores de micronutrientes; e 4 kg de P11, aplicado junto com os fungicidas P1 e P2 (vide Tabela 8).

No total foram realizadas 10 aplicações foliares. Quatro aplicações foram dos produtos P1 e P2 para o controle da ferrugem do café; duas aplicações com os produtos P3 e P4 para controle da ferrugem e indução de resistência nas plantas; três aplicações visaram o fornecimento de micronutrientes através dos produtos P7 e P8, sendo que em uma houve também o fornecimento do P10; e uma aplicação dos produtos P5 e P9 para controle de ferrugem e broca do café (vide Tabela 8).

Tabela 8 – Aplicações 1 a 10 de produtos foliares na safra 2005/06 na Fazenda Santa Maria da Boa Vista

1a aplicação		2a aplicação		3a aplicação	
Produto	kg/ha	Produto	kg/ha	Produto	kg/ha
P2	1,00	P3	0,70	P7	3,00
P1	3,00	P4	1,00	P8	2,00
P11	0,10	P6	2,00	P10	4,00
Talhões: 1,2,3,4,5,6,7,8		Talhões: 1,2,4,6,7,8		Talhões: 1,2,4,5,6,7,8	
4a aplicação		5a aplicação		6a aplicação	
Produto	kg/ha	Produto	kg/ha	Produto	kg/ha
P9	1,20	P7	3,00	P2	1,00
P5	0,20	P8	2,00	P1	3,00
P6	2,00			P6	2,00
Talhões: 1,2,3,4,6,7,8		Talhões: 1,2,3,4,6,7,8		Talhões: 1,2,3,4,6,7,8	
7a aplicação		8a aplicação		9a aplicação	
Produto	kg/ha	Produto	kg/ha	Produto	kg/ha
P7	3,00	P2	1,00	P2	0,70
P8	2,00	P1	3,00	P4	1,00
		P6	2,00	P6	2,00
Talhões: 1,2,3,4,6,7,8		Talhões: 1,2,3,4,6,7,8		Talhões: 1,2,3,4,6,7,8	
10a aplicação					
Produto	kg/ha				
P2	1,00				
P1	3,00				
P6	2,00				
Talhões: 1,2,3,4,6,7,8					

Fonte: Dados fornecidos pelo produtor referentes à safra 2005/06.

P1 – produto 1; P2 – produto 2; P3 – produto 3; P4 – produto 4; P5 – produto 5; P6 – produto 6; P7 – produto 7; P8 – produto 8; P9 – produto 9; P10 – produto 10.

A colheita da safra pode ser conduzida de forma manual ou mecânica, dependendo da idade da lavoura e da carga produzida na safra. Em anos de alta produção a colheita é, em sua maioria, de forma mecânica. Em anos de baixa produção, a área colhida manualmente aumenta.

No geral, as lavouras estão localizadas a uma mesma distância (entre 1 e 2 km) do terreiro onde ocorre a secagem dos grãos, fazendo com que esta variável (distância) seja pouco significativa na decisão da ordem de colheita das lavouras.

A frota de maquinário disponível consiste em três tratores cafeeiros com 65 cavalos de potência e dois tratores agrícolas, um com potência de 90 CV e outro de 75 CV. Há também uma colhedora de café, adquirida em sociedade com propriedades vizinhas, com participação de 25% da Fazenda Santa Maria da Boa Vista.

Os gastos com o manejo da lavoura, adubação com macro e micronutrientes e controle fitossanitário, totalizaram R\$ 172.850,31. Os custos envolvidos no manejo da lavoura para aquisição de insumos e aplicação dos mesmos estão descritos nas Tabelas 9, 10 e 11. Os preços dos insumos foram fornecidos pelo produtor e os custos de aplicação foram retirados do Agriannual 2007 (vide Tabela 12).

Do total de R\$ 172.850,31, R\$ 127.722,61 são referentes aos insumos aplicados via solo, sendo 8% (R\$ 10.141,98) relativos ao custo de aplicação e 92% (R\$ 117.580,64) à aquisição de produtos. Desse último valor, 65,55% (R\$ 77.076,12) foram utilizados para a aquisição do adubo A2; 14,93% (R\$ 17.556,78) para a compra do adubo A3 e 7,55% (R\$ 8.877,34) para a compra do C1 (vide Tabela 9).

Tabela 9 – Custos de insumos e aplicação de produtos via solo

Produto	Preço (R\$/kg)	Quantidade (kg)	Custo Produto (R\$)	Custo Aplicação (R\$)	Custo Total (R\$)
Calcario	0,06	113.672,72	6.820,36	1.838,57	8.658,93
A1	0,40	4.583,08	1.844,69	1.434,50	3.279,20
A2	0,67	115.038,99	77.076,12	1.838,57	78.914,69
A3	0,72	24.249,70	17.556,78	1.544,54	19.101,32
A4	0,85	1.238,76	1.052,95	125,07	1.178,02
A5	2,50	600,02	1.500,04	469,51	1.969,55
A6	0,00	209,17	0,00	1.309,43	1.309,43
C1	18,00	493,19	8.877,34	1.428,20	10.305,54
C2	11,40	250,21	2.852,35	153,58	3.005,93
Total	-	-	117.580,64	10.141,98	127.722,61

Fonte: Dados de preço do produto (outubro 2005) foram fornecidos pelo produtor e dos custos de aplicação foram retirados da FNP Consultoria & Comércio (2006) (ano base 2006).

Tabela 10 – Custos de insumos aplicados via foliar

Produto	Quantidade Total (kg)	Custo (R\$/kg)	Custo Produto (R\$)
P1	478,83	13,00	6.224,81
P2	159,61	14,70	2.346,28
P3	51,87	78,00	4.046,13
P4	74,10	15,00	1.111,57
P5	15,96	160,00	2.553,77
P6	399,03	6,00	2.394,16
P7	359,12	6,00	2.154,74
P8	239,42	7,00	1.675,91
P9	47,88	120,00	5.745,98
P10	119,71	3,00	359,12
P11	3,99	6,00	23,94
Total	-	-	28.636,43

Fonte: Dados fornecidos pelo produtor; preços referentes a outubro 2005.

Para a aquisição dos insumos aplicados via foliar (descrito na Tabela 8) foram gastos R\$ 28.636,40, concentrados nos produtos P1 (21,74% ou R\$ 6.244,81) e P9 (20% ou R\$ 5.745,98) (vide Tabela 10). Os custos para sua aplicação foram de R\$ 16.491,27 (vide Tabela 11), totalizando R\$ 45.127,67.

Tabela 11 – Custo das aplicações via foliar

Aplicação foliar (conforme Tabela 8)	Custo (R\$)
1	1.649,16
2	1.572,21
3	1.725,78
4	1.649,16
5	1.649,16
6	1.649,16
7	1.649,16
8	1.649,16
9	1.649,16
10	1.649,16
Total	16.491,27

Fonte: Elaborado com dados da FNP Consultoria & Comércio (2006) (ano base 2006).

Com exceção do talhão 4 que foi podado e, portanto, não teve produção, os demais talhões foram colhidos mecanicamente e tiveram um repasse de varrição de forma que os custos de colheita totalizam R\$ 14.163,42. Dentre as atividades de manejo, a colheita mecanizada apresentou o maior custo unitário (R\$ 213,72/ha), seguida pela varrição (R\$ 45,00/ha) (vide Tabela 12).

Tabela 12 – Custo de atividades de manejo

Atividade	Custo (R\$/ha)
Calagem	31,30
Adubação mecanizada	31,30
Aplicação de defensivo mecanizada	30,69
Colheita mecanizada	213,72
Colheita repasse varrição	45,00

Fonte: FNP Consultoria & Comércio (2006) (ano base 2006)

A produção da fazenda, considerada de safra cheia, foi de 2.260 sacas de 60 kg de café, com o talhão 5 apresentando maior produtividade, seguido pelos talhões 1, 7 e 3 (vide Tabela 13).

Tabela 13 – Custos de colheita e produção por lavoura

Talhão	Área (ha)	Custo Colheita (R\$/ha)	Estimativa Produção (sc/ha)	Produção Total (sacas)
1 Estrada	5,7	1.474,80	75	429
2 Café TT	10,0	2.586,24	23	225
3 Catucaí	2,5	648,71	40	100
4 Café Adensado	4,0	0,00	0	0
5 Catucaí Novo	5,0	1.294,67	95	477
6 Café Óleo	5,4	1.396,53	24	129
7 Café CC	9,2	2.389,02	47	432
8 Café Jacarandá	16,9	4.373,44	28	470
TOTAL	58,7	14.163,42	-	2.260

Fonte: Dados de produção (safra 2005/2006) fornecidos pelo produtor e custo de colheita extraído da FNP Consultoria & Comércio (2006) (ano base 2006).

Observa-se que as atividades descritas referem-se àquelas envolvidas no manejo de lavouras em fase produtiva da safra durante o ano agrícola 2005-2006. Não foram consideradas as atividades de implantação das lavouras, secagem, beneficiamento ou as administrativas.

Conforme apresentado no Agriannual 2007 para a região de Franca, os custos de secagem e beneficiamento podem ser estimados em R\$ 1.580,13/ha, enquanto os custos de administração são de R\$ 825,47/ha, totalizando um custo adicional de R\$ 141.208,72.

Portanto, para a produção de 2.260 sacas de café em uma área de 58,7 ha, foram gastos R\$ 328.222,45. Considerando que o preço médio de venda da saca de café tenha sido de R\$ 230,00, a renda bruta do produtor foi de R\$ 519.800,00, o que implica um lucro bruto de R\$ 191.577,55.

2.2.2 Método

A modelagem matemática da produção agrícola visa a orientação adequada do produtor rural em seu processo de tomada de decisão, a qual poderá vir a afetar diretamente as atividades operacionais e táticas da condução da cultura. Nesse sentido, a construção do modelo deve partir da definição do seu objetivo, determinação das suas restrições e identificação das suas principais variáveis.

Segundo Zander e Kachele (1999), um modelo é uma representação simplificada de um sistema real. A essência da modelagem matemática resume-se em “traduzir” problemas para a linguagem matemática através de especificações que envolvam funções, equações e inequações, o que implica discussões para a determinação do problema, identificação das variáveis, estimativas e simplificações. O objetivo é a solução de problemas reais.

Os modelos podem ser elaborados de forma abstrata, a partir do conhecimento técnico. A definição de sua estrutura ocorre a partir das relações que incorpora, as quais são, de uma maneira geral, independentes dos dados com os quais ele é alimentado. No entanto, para que sejam práticos, é preciso que sejam confrontados com a realidade através dos próprios dados ou de inferências obtidas a partir desses dados. Segundo Wit et al. (1980), esses dados podem dizer respeito a observações, fatos ou valores coletados a partir de atividades reais. Suas interações com o modelo podem ocorrer das seguintes maneiras:

- os dados podem ser úteis para orientar a estruturação de parte ou da totalidade do modelo;
- os dados são necessários para estimar parâmetros do modelo;

- os dados são necessários para realizar testes e validar o modelo.

Definir um modelo que busque a sustentabilidade econômica de uma atividade agropecuária tem significado trabalhar com múltiplos objetivos. Segundo Wit et al. (1980), quando apenas um objetivo é perseguido, a resposta obtida é direta. Entretanto, quando múltiplos objetivos (que podem ser conflitantes) devem ser otimizados, a escolha do desenvolvimento da estrutura do modelo passa a ser dependente da importância concedida a cada objetivo.

Segundo Zander e Kachele (1999) um modelo multiobjetivo para uma propriedade agrícola assemelha-se a um modelo de programação linear comum resolvido pelo método Simplex em que são utilizadas várias funções objetivos. Vários processamentos são executados conferindo pesos diferentes aos objetivos conforme a importância de cada um.

Segundo Field (1973), a resolução de um modelo de programação linear multiobjetivo deve seguir os seguintes passos:

1. Formular o problema sem pesos ou prioridades e resolvê-lo.
2. Definir prioridades e estabelecer pesos diferentes para as variáveis representativas dos diferentes objetivos (esses pesos estabelecerão a importância dos objetivos);
3. Incorporar a estrutura de importância definida em (2) no modelo.

Wit et al. (1980) defendem que a importância atribuída a cada objetivo não será a mesma para os diferentes usuários do modelo. Como solução para o dilema, os autores descrevem o método de programação linear multiobjetivo iterativa.

Neste método, os autores descrevem que a solução desejada será obtida ao final de uma série de ciclos de iterações. No primeiro ciclo, são considerados os mínimos valores para os limites inferiores de todos os objetivos considerados que permitam a obtenção de um resultado que satisfaça ao mesmo tempo esses requerimentos mínimos. Então, cada objetivo é maximizado individualmente com os limites inferiores dos demais objetivos sendo definidos como objetivo de mínima restrição. Com base nos resultados da primeira iteração pode ser concluído que para cada um dos objetivos não pode ser aceito um valor menor do que aquele calculado nessa iteração.

Do ponto de vista do usuário, os autores afirmam que soluções mais satisfatórias podem ser obtidas em ciclos de iterações subsequentes em que uma das restrições associada a um

objetivo é forçada e as demais são mantidas constantes. A escolha da restrição e até quanto uma restrição será forçada reflete o interesse do usuário. Isso permite que se obtenha o custo de satisfazer um objetivo em detrimento de outro. Entretanto, chega um momento em que não se pode mais forçar a restrição associada a um objetivo sem prejudicar o resultado de outro objetivo, o que pode implicar custos de oportunidade significativos.

Zander e Kachele (1999) afirmam que ao se definir prioridades se evidencia o quanto se está disposto a sacrificar um objetivo em prol de outro. Modificações em parâmetros técnicos ou econômicos podem ser consideradas ao se atribuir novos pesos aos objetivos, gerando cenários alternativos para análise.

2.2.3 Modelo matemático proposto

Os objetivos do modelo matemático de programação linear multiobjetivo a ser proposto deverão incluir: a maximização do lucro do cafeicultor; a maximização da produção total de café; maximização da produção de café qualidade cereja; a minimização de gastos com insumos; a minimização de custos de colheita. A principal resposta a ser obtida a partir do processamento do modelo deverá dizer respeito ao seqüenciamento ideal de colheita das lavouras.

O modelo proposto busca simplificar as relações existentes entre utilização de insumos produtivos e respostas de produção da lavoura. Nesse sentido, são consideradas alternativas de insumos a serem utilizados (formulações de adubos, linhas de defensivos agrícolas e formas de colheita) e seus respectivos custos. Tenta-se assim identificar a alocação de insumos que satisfaça aos objetivos considerados e que respeite as limitações a que o modelo está sujeito.

Os passos para a estruturação do modelo e obtenção de resultados estão ilustrados na Figura 9. Em um primeiro momento, foram analisados os dados disponíveis referentes ao sistema produtivo da Fazenda Santa Maria da Boa Vista e as informações sobre as práticas de produção repassadas pelo proprietário e pelo consultor técnico da fazenda, tendo em vista os objetivos a serem otimizados pelo modelo. O próximo passo foi listar as considerações técnicas do sistema produtivo, levantar as alternativas de insumos produtivos para a propriedade e definir os coeficientes técnicos de produção a serem utilizados. Em seguida, estruturou-se o modelo de

programação linear multiobjetivo considerando cenários diversos obtidos a partir de alterações de valores de parâmetros e pela atribuição de pesos aos diferentes objetivos. Em cada caso, foram realizados repetidos processamentos forçando as restrições associadas aos diferentes objetivos até que não fosse mais possível melhorar o nível/valor de um objetivo sem prejudicar outro.

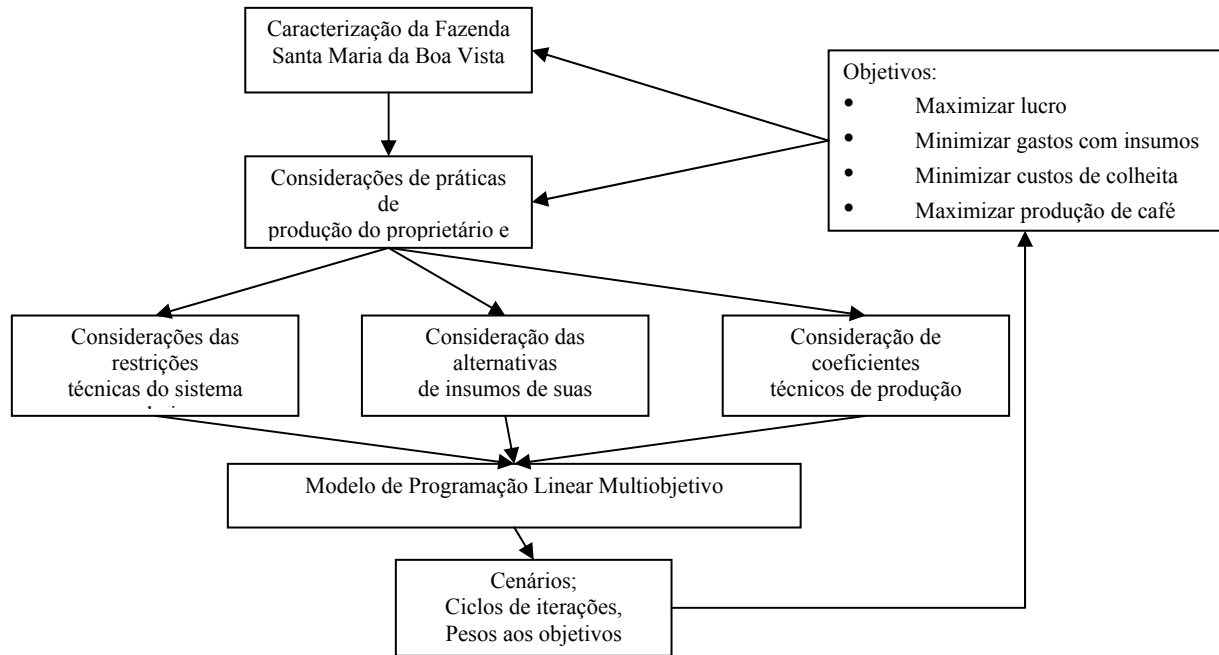


Figura 9 - Representação esquemática dos passos para estruturação do modelo matemático de programação linear multiobjetivo e obtenção dos seus resultados

Com a utilização desse modelo matemático busca-se auxiliar o produtor agrícola na correta alocação de seus recursos produtivos, orientando-o quanto:

- à qualidade da adubação e do controle fitossanitário a serem adotados de forma a produzir uma quantidade mínima de café com qualidade diferenciada;
- ao sistema de colheita mais adequado para cada lavoura;
- à estimativa de lucro a ser obtida diante da alocação de recursos que venha a ser indicada.

Diante da complexidade do sistema estudado e da quantidade de informações envolvidas, algumas premissas (hipóteses simplificadoras) foram estabelecidas e devem ser consideradas para a observação dos objetivos do modelo:

1. Para uma dada safra, algumas características inerentes ao sistema produtivo são mantidas constantes, como variedades cultivadas, tipo de solo, idade da lavoura e espaçamento adotado. Essas características afetam diretamente o potencial produtivo e podem variar de uma safra para outra. As alterações podem ser incorporadas ao modelo pela alteração dos parâmetros de entrada.
2. As curvas de respostas para as alternativas consideradas de utilização de insumos (adubos e defensivos) foram estimadas com o auxílio do consultor técnico da fazenda; já a eficiência da colheita conforme o mês em que ocorre foi estimada com o auxílio do produtor. Essas estimativas são inerentes à propriedade e são melhor ajustadas conforme a qualidade dos coeficientes técnicos disponíveis.
3. A porcentagem da produção de café por qualidade foi estimada com base no trabalho de Costa (2004) e é considerada semelhante em todos os talhões dado que não havia dados empíricos disponíveis que distinguissem essa característica entre os diferentes talhões.
4. Os dados de entrada do modelo se referem aos custos (R\$/ha), produção (sacas/ha) e área (ha). Assim, as particularidades inerentes ao sistema devem ser expressas nessas unidades.
5. Em função da falta de dados empíricos, os custos de beneficiamento e de administração foram considerados constantes e estimados com base na FNP Consultoria & Comércio (2006) (ano base 2006).
6. A bianualidade da produção foi considerada nas informações de recomendações técnicas conforme a safra de alta ou baixa produção. O modelo está estruturado para receber eventuais novas alternativas de insumos e de tecnologias de produção.

2.2.3.1 Representação diagramática do modelo proposto

A Figura 10 apresenta o diagrama esquemático do modelo proposto que envolve oito talhões (T) com suas características inerentes de área, espaçamento e variedade de café cultivada,

sobre os quais poderá ser utilizada uma das dezoito alternativas de aplicação de insumo (AF), cada uma delas associada a um gasto (G), que diferem quanto a adubos e defensivos agrícolas utilizados e a duas formas de colheita (O) conforme o mês (M) em que a atividade será desenvolvida, cada uma delas associada a um custo (C). A cada talhão também está associado um custo administrativo (D) e um custo de beneficiamento (B). Dada uma combinação de insumos produtivos, cada talhão produzirá uma quantidade (PRODU) de café, que pode ser classificado em um tipo de qualidade (Q), cada qual com um determinado preço (PRECOCAFE) de mercado. Com a venda do café é obtida a renda (R) da propriedade da qual são subtraídos os gastos com insumos (G) e os custos de colheita (C), administração (D) e beneficiamento (B), de forma a se ter um lucro (L).

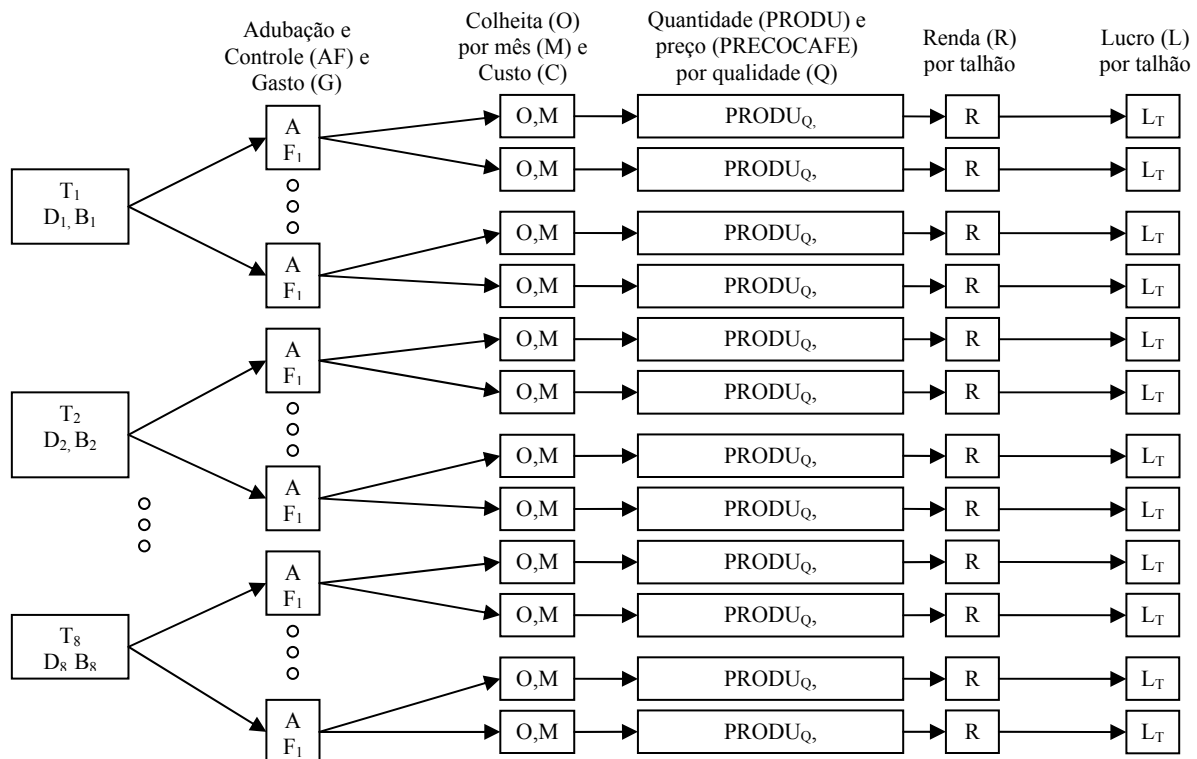


Figura 10 - Representação diagramática do modelo proposto

2.2.3.2 Representação matemática do modelo proposto

A estrutura do modelo matemático de programação linear multiobjetivo é composta por uma função multiobjetivo, três conjuntos de restrições contábeis, sete conjuntos restrições técnicas e dois conjuntos de variáveis endógenas.

Sua especificação matemática é apresentada a seguir, sendo que sua codificação para a linguagem do *software* GAMS está documentada no Anexo 1.

1) Função multiobjetivo:

$$\text{Max } MOBJ = (\alpha_1 \times L) - (\alpha_2 \times G) - (\alpha_3 \times C) + (\alpha_4 \times Z) + (\alpha_5 \times E) \quad (4)$$

onde:

α_n = peso atribuído ao objetivo

L = Lucro

G = Gasto com insumos

C = Custo de colheita

Z = Produção total de café

E = Produção de café cereja

Desmembrando a função objetivo, obtém-se as seguintes parcelas:

$$\text{Max } \alpha_1 \times L \quad (5)$$

$$\text{Min } \alpha_2 \times G \quad (6)$$

$$\text{Min } \alpha_3 \times C \quad (7)$$

$$\text{Max } \alpha_4 \times Z \quad (8)$$

$$\text{Max } \alpha_5 \times E \quad (9)$$

As expressões (5), (6), (7), (8) e (9) representam, respectivamente, os objetivos relacionados à maximização do lucro, à minimização dos gastos com insumo, à minimização dos custos de colheita, à maximização da produção total de café e à maximização da produção de café

da qualidade cereja. Os pesos específicos α_n que venham a ser atribuídos a cada uma dessas expressões refletirão as prioridades do tomador de decisão envolvido.

2) Restrições contábeis

2a) Lucro: representado pela diferença entre a renda (R) e os gastos com adubos e defensivos (G), custos de colheita (C), custos de beneficiamento (B) e custos administrativos (D).

$$L = R - G - C - D - B \quad (10)$$

Desmembrando a equação 5, obtém-se:

R: receita obtida a partir do somatório do preço do café, conforme sua qualidade, multiplicada pela produtividade do talhão para cada qualidade e pela área do talhão:

$$R = \sum_{q,t,a,f} precocafe_q \times producao_{t,a,f} \times qualidade_{t,q} \times area_t \times X_{t,a,f} \quad (11)$$

onde:

$precocafe_q$: preço da saca de café em R\$ conforme sua qualidade q ;

$producao_{t,a,f}$: produtividade em sacas por hectare de cada talhão t de acordo com a qualidade da adubação a e do controle fitossanitário f ;

$qualidade_{t,q}$: porcentagem de café da qualidade q produzido por talhão t ;

$area_t$: área em hectares de cada talhão t ;

$X_{t,a,f}$: variável binária que indica qual qualidade de adubação a e controle fitossanitário f deverá ser adotado em cada talhão t .

G: somatório do custo de produção (adubos e defensivos) por hectare multiplicado pela área de cada talhão:

$$G = \sum_{t,a,f} custoproducao_{t,a,f} \times area_t \times X_{t,a,f} \quad (12)$$

onde:

$custoproducao_{t,a,f}$: custo de insumos expressos em R\$ por hectare para cada talhão t conforme a qualidade do adubo a e do controle fitossanitário f .

C : somatório do custo (R\$) por hectare para cada tipo de colheita em talhão, multiplicado pela área do talhão e pela quantidade colhida em cada talhão conforme o tipo de colheita:

$$C = \sum_{m,o,t} custocolheita_{m,o,t} \times area_t \times Y_{m,o,t} \quad (13)$$

onde:

$custocolheita_{m,o,t}$: custo da colheita expresso em R\$ por hectare conforme o mês m e o tipo de colheita o para cada talhão t ;

$Y_{m,o,t}$: variável binária que indica em qual mês m qual tipo de colheita o deverá ser utilizado para o talhão t .

B : somatório do café produzido em sacas multiplicado pelo custo do beneficiamento (β) por saca (obtido no Agriannual 2007, ano base 2006):

$$B = \sum_{q,t,a,f} producao_{t,a,f} \times qualidade_{t,q} \times X_{t,a,f} \times \beta \quad (14)$$

D : somatório da área das lavouras multiplicado pelo custo administrativo (δ) expresso em R\$/ha (obtido no Agriannual 2007, ano base 2006):

$$D = \sum_{t,a,f} area_t \times X_{t,a,f} \times \delta \quad (15)$$

2b) Qualidade: somatório da produção dos talhões, multiplicado pela proporção de grãos cereja e pela área do talhão:

$$E = \sum_{q,t,a,f} producao_{t,a,f} \times (qualidade_{t,cereja})/4 \times area_t \times X_{t,a,f} \quad (16)$$

2c) Produção Total: somatório da produção dos talhões, multiplicado pela proporção da qualidade dos cafés e pela área:

$$Z = \sum_{q,t,a,f} producao_{t,a,f} \times qualidade_{t,cereja} \times area_t \times X_{t,a,f} \quad (17)$$

3) Restrições técnicas:

3a) Gasto: em um mesmo talhão deverá ser usado um único tipo de adubação e um único tipo de controle fitossanitário:

$$\sum_{a,f} X_{t,a,f} = 1, \text{ para todos os talhões } t. \quad (18)$$

3b) Colheita: a totalidade das áreas das lavouras da Fazenda Santa Maria da Boa Vista deverá ser colhida:

$$\sum_{m,o} Y_{m,o,t} = area_t, \text{ para todos os talhões } t. \quad (19)$$

3c) Área: a área máxima em um mês a ser colhida mecanicamente é de λ hectares:

$$\sum_{o,t} Y_{m,maquina,t} \leq \lambda, \text{ para todos os meses } m. \quad (20)$$

3d) Renda mínima: a renda (R) mínima a ser obtida deve ser maior ou igual a um valor γ :

$$\sum_{q,t,a,f} precocafe_q \times producao_{t,a,f} \times qualidade_{t,q} \times area_t \times X_{t,a,f} \geq \gamma \quad (21)$$

3e) Gasto máximo: o gasto (G) deverá ser menor ou igual a μ .

$$\sum_{t,a,f} custoproducao_{t,a,f} \times area_t \times X_{t,a,f} \leq \mu \quad (22)$$

3f) Quantidade mínima café cereja: a quantidade de café cereja a ser produzido deverá ser maior ou igual a ε :

$$\sum_{q,t,a,f} producao_{t,a,f} \times (qualidade_{t,cereja})/4 \times area_t \times X_{t,a,f} \geq \varepsilon \quad (23)$$

3g) Quantidade mínima café total: a quantidade de café total a ser produzido deverá ser maior ou igual a η :

$$\sum_{q,t,a,f} producao_{t,a,f} \times qualidade_{t,cereja} \times area_t \times X_{t,a,f} \geq \eta \quad (24)$$

Portanto, em sendo devidamente processado, o modelo trará os resultados recomendados para as variáveis endógenas $X_{t,a,f}$ e $Y_{m,o,t}$, além dos valores correspondentes a cada um dos objetivos especificados (L, G, C, Z, E).

2.2.3.3 Cenários

Serão analisados três cenários, diferenciados por alterações nos parâmetros de entrada e pesos conferidos aos múltiplos objetivos.

No primeiro cenário, os pesos atribuídos aos objetivos serão iguais e o processamento inicial contará com a atuação das restrições representadas pelas equações de 4 a 20. Os processamentos subseqüentes diferem entre si pelas equações utilizadas e pelas equações forçadas, conforme descrito na Tabela 14. As restrições foram forçadas pela imposição de limites associados aos valores observados para cada um dos objetivos no processamento anterior, sendo que esse procedimento era interrompido quando a melhora do valor da variável associada a um determinado objetivo implicasse a piora do valor da variável associada a outro objetivo.

Tabela 14 – Processamentos realizados com o modelo matemático multiobjetivo

Processamento	Equações utilizadas	Equações forçadas
1	4 a 20	-
2	4 a 21	21
3	4 a 20 e 22	22
4	4 a 20	20
5	4 a 21	20 e 21
6	4 a 20 e 23	23
7	4 a 20 e 24	24

Fonte: Dados de pesquisa.

O segundo cenário difere do primeiro quanto aos valores de preços por qualidade utilizados e pelas proporções de café por tipo de qualidade produzido em cada talhão, de forma a verificar o impacto desses parâmetros nos resultados do modelo.

Ao terceiro cenário é incorporada a diferenciação dos pesos dos objetivos considerados buscando priorizar a maximização do lucro e a produção de café da qualidade cereja.

Tanto no segundo quanto no terceiro cenário foram repetidos os processamentos descritos na Tabela 14.

Em todos os cenários o sistema produtivo da Fazenda Santa Maria da Boa Vista permanecerá constante, no tocante às alternativas de adubos e de defensivos para o controle fitossanitário, suas dosagens e a estimativa das suas curvas de resposta de produção, que foram estimadas pelo consultor técnico da propriedade.

Os custos desses insumos, para setembro de 2006, foram obtidos na revenda de produtos agrícolas Casa do Café, localizada em Franca – SP; os custos de aplicação foram obtidos da FNP Consultoria & Comércio (2006) (ano-base 2006) para a região de Franca - SP.

A diferença na eficiência da colheita conforme o mês e o tipo de café foram estimados com o auxílio do proprietário. Os custos de colheita, administrativos e de beneficiamento foram obtidos a partir da FNP Consultoria & Comércio (2006) (ano-base 2006), para a região de Franca – SP.

Por fim, a proporção da produção de café por qualidade e seu impacto na diferença de preço foram estimadas com base em dados da literatura.

2.3 Resultados

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos para cada cenário especificado neste estudo visando a otimização da produção de cafés finos no contexto da Fazenda Santa Maria da Boa Vista. A análise tem enfoque no comportamento dos múltiplos objetivos considerados e em suas variações conforme a atribuição dos pesos; na alocação de insumos (adubos e defensivos); e no seqüenciamento de colheita indicado.

Os dados de entrada utilizados no modelo matemático são apresentados no Anexo.

2.3.1 Cenário 1

Neste cenário os múltiplos objetivos considerados têm pesos iguais, de forma que apresentam importâncias semelhantes entre si. As principais metas nos processamentos efetuados nesta etapa consistem em:

- a) verificar se as relações incorporadas através das funções, equações e inequações refletem de forma adequada a simplificação do sistema produtivo de café da Fazenda Santa Maria da Boa Vista;
- b) obter os valores ótimos a serem atribuídos a cada objetivo considerado para então realizar alterações nos parâmetros de entrada e nos pesos concedidos aos objetivos, criando novos cenários, de forma a analisar qualitativamente os custos de oportunidades de se priorizar um objetivo em detrimento de outro.

O primeiro processamento não apresentou restrições forçadas. O modelo foi rodado de forma a se obter os valores ótimos para os objetivos considerados. Os processamentos 2 a 7 apresentaram restrições forçadas conforme descrito na Tabela 15. Os valores assumidos pelos parâmetros alterados foram extraídos dos resultados do primeiro processamento ou de processamentos subseqüentes, sempre buscando forçar um resultado melhor para o objetivo analisado sem haver prejuízo dos demais.

Tabela 15 – Equações forçadas nos processamentos 2 a 7 do cenário 1²

Processamento	Equação forçada	Parâmetro alterado	Valor assumido pelo parâmetro alterado
1	-	-	-
2A	21	γ	508.490
2B	21	γ	516.031
2C	21	γ	517.704
3	22	μ	125.433
4A	20	λ	15
4B	20	λ	10
4C	20	λ	5
4D	20	λ	0
5	20 e 21	γ λ	517.704 5
6	23	ε	718
7	24	η	2.395

Fonte: Resultados da pesquisa.

² γ – valor (R\$) da renda (R); μ – valor (R\$) do gasto (G); λ – área (ha) colhida mecanicamente; ε – quantidade (sacas) de café cereja; η – quantidade (sacas) de café total.

No primeiro processamento, foi obtido um valor de lucro (L) igual a R\$ 160.113,90, oriundo de uma renda igual a R\$ 508.489,50, da qual foram subtraídos os gastos com insumo (R\$ 125.433,30), os custos de colheita (R\$ 118.570,18), de administração (R\$ 48.427,50) e de beneficiamento (R\$ 55.944,00). A produção indicada de café do tipo cereja é de 683,76 sacas de 60 kg e a produção total é de 2.279,20 sacas (vide Tabela 16).

Tabela 16 – Resultados obtidos para os processamentos do cenário 1

Processa-mento	Lucro (L)	Renda (R)	Gasto Insumo (G)	Custo Colheita (C)	Custo Adminis-trativo (D)	Custo Beneficia-mento (B)	Produção Café Cereja (E)	Produção Total (Z)
1	160.113,90	508.489,50	125.433,30	118.570,80	48.427,50	55.944,00	683,76	2.279,20
2A	163.668,20	516.030,30	129.083,70	118.570,80	48.427,50	56.280,00	693,90	2.313,00
2B	164.132,80	517.703,60	129.788,40	118.570,80	48.427,50	56.784,00	696,15	2.320,50
2C	164.094,20	518.819,10	130.606,60	118.570,80	48.427,50	57.120,00	697,65	2.325,50
3	157.564,60	503.402,80	123.568,00	118.570,80	48.427,50	55.272,00	676,92	2.256,40
4A	157.939,80	508.489,50	125.433,30	120.744,80	48.427,50	55.944,00	683,76	2.279,20
4B	147.106,80	508.489,50	125.433,30	131.577,90	48.427,50	55.944,00	683,76	2.279,20
4C	128.381,50	508.489,50	125.433,30	150.303,20	48.427,50	55.944,00	683,76	2.279,20
4D	96.431,39	508.489,52	125.433,35	182.253,28	48.427,50	55.944,00	683,76	2.279,20
5	132.361,80	518.819,10	130.606,60	150.303,20	48.427,50	57.120,00	697,65	2.325,50
6	163.431,20	534.213,00	145.991,40	118.570,80	48.427,50	57.792,00	718,35	2.394,50
7	163.895,80	535.886,20	146.696,10	118.570,80	48.427,50	58.296,00	720,60	2.402,00

Fonte: Resultados da pesquisa.

Os processamentos 2A, 2B e 2C foram realizados forçando a restrição 21, sendo indicado um valor ótimo de renda (R) a ser obtido, equivalente ao resultado do processamento anterior. Assim, no processamento 2A, a renda a ser obtida foi de R\$ 508.490,00, valor de renda obtido no processamento 1. Nos processamentos 2B e 2C, os valores mínimos de renda impostos foram de, respectivamente, R\$ 516.031,00 e R\$ 517.704,00, valores esses obtidos nos processamentos 2A e 2B, respectivamente (vide Tabela 15).

Observa-se que o aumento da renda foi acompanhado por aumento nos gastos com insumos, no custo de beneficiamento, na produção de café cereja e na produção de café total. Nos processamentos 2A e 2B houve, inclusive, aumento de lucro, significando que, nestas situações, o aumento da produção compensou os investimentos adicionais. Entretanto, o aumento de renda de

R\$ 1.115,50, observado no processamento 2B, significou uma redução no lucro de R\$ 38,60 (vide Tabela 16).

No terceiro, processamento a restrição 22 foi forçada de forma que o gasto com insumos (adubos e defensivos agrícolas) fosse menor ou igual ao valor de R\$ 125.433,00. Houve redução neste valor de R\$ 1.865,30 (1,5%). Entretanto, isso impactou diretamente o potencial produtivo das lavouras, reduzindo a produção de café da qualidade cereja (- 6,84 sacas), a produção total (- 46,3 sacas) e, conseqüentemente a renda e o lucro (vide Tabela 16).

O quarto processamento forçou a equação 20, sendo realizadas 4 iterações (4A, 4B, 4C e 4D) referentes a um limite máximo de área a ser colhido mecanicamente de, respectivamente, 15 ha, 10 ha, 5 ha e 0 ha. Nos 3 primeiros casos houve redução no lucro em função do aumento no custo da colheita. Como se restringiu o uso da colheitadeira, foi elevada a proporção da colheita manual, que apresenta um custo maior que a mecânica. No quarto caso, em que a totalidade da colheita foi manual, houve aumento na produção de café cereja e total, dado que essa forma de desenvolver a atividade é mais seletiva. Entretanto, o custo foi bastante prejudicado, refletindo em queda significativa do lucro (vide Tabela 16).

No quinto processamento buscou-se forçar as restrições 21 e 22 simultaneamente, de forma a se impor um limite mínimo de renda de R\$ 508.490,00 atrelada a um limite máximo de área colhida mecanicamente de 5 ha (vide Tabela 15). Neste caso, quando comparado ao processamento 1, houve aumento da renda e dos custos de colheita, refletindo em redução de lucro (vide Tabela 16)

No sexto processamento, a equação 23 foi forçada para apresentar uma produção mínima de café da qualidade cereja de 683,76 sacas de 60 kg. Os resultados encontrados evidenciam, em relação ao primeiro processamento, uma elevação na produção de café cereja em 34,59 sacas e na produção total de 115,30 sacas que, melhoraram a renda suficientemente para compensar o aumento dos gastos com insumos, do custo da colheita e do custo do beneficiamento (vide Tabela 16).

No sétimo processamento, a equação 24 foi forçada de forma a se obter uma produção total de café de no mínimo 2.395 sacas (vide Tabela 15). Em relação ao processamento 6 houve aumento de produção total de 7,5 sacas e aumento na produção de café cereja de 2,25 sacas, o que permitiu um aumento de renda e de lucro (vide Tabela 16).

Os resultados obtidos nos processamentos, ao serem analisados conjuntamente, permitem a elaboração de curvas que evidenciam os impactos nos objetivos considerados ao se forçar as restrições. A Figura 11 compara os valores de lucro (L), gastos com insumos (G) e produção de café cereja (E) obtidos nos processamentos; a Figura 12 compara os valores de lucro (L), custo de colheita (C) e produção total de café (Z).

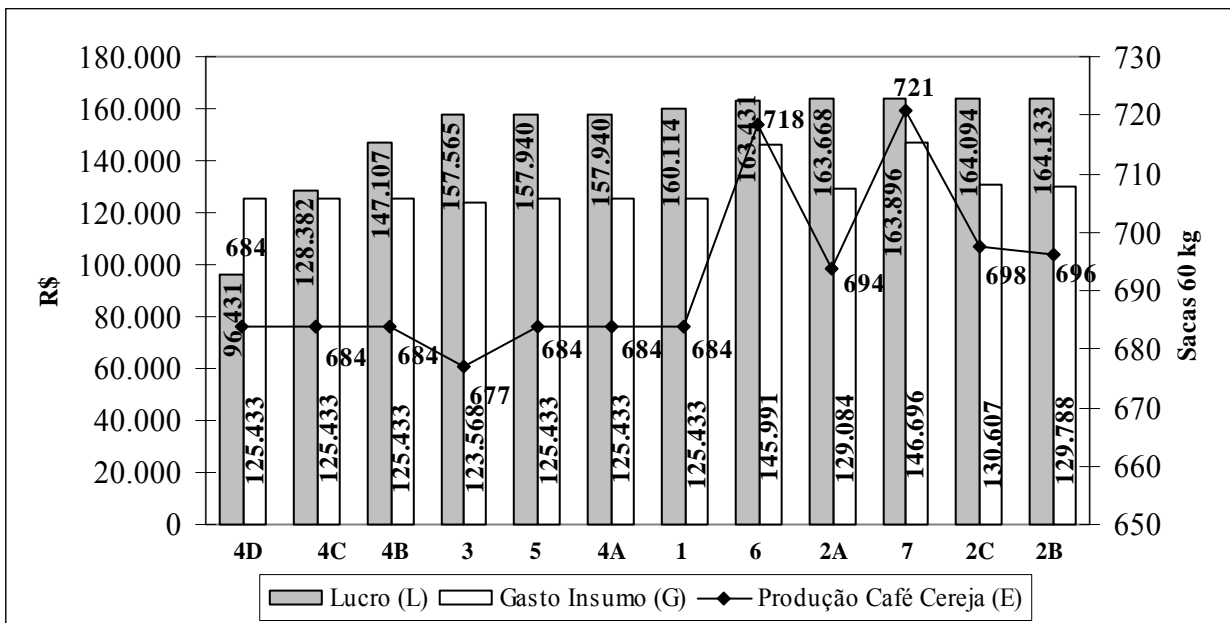


Figura 11 – Resultados de lucro (L), gastos com insumos (G) e produção de café cereja (E) obtidos com os processamentos desenvolvidos para o cenário 1

Fonte: Resultados da pesquisa.

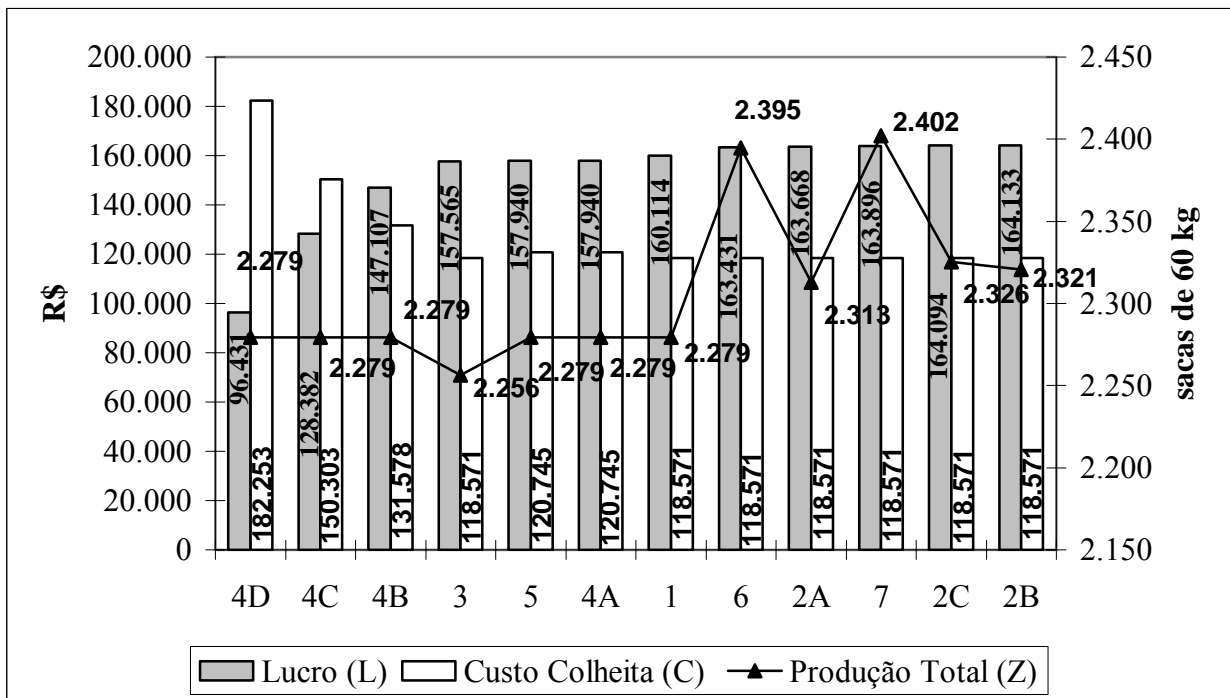


Figura 12 – Resultados de lucro (L), custo de colheita (C) e produção total de café (Z) obtidos nos processamentos desenvolvidos para o cenário 1

Fonte: Resultados da pesquisa.

Observa-se que o maior valor de lucro foi obtido no processamento 2B e não se refere ao máximo de produção total e de produção de café cereja. Os gastos com insumos não são iguais aos valores mínimo ou máximo, mas os custos com colheita são os menores. Os maiores volumes de produção total e de café cereja são obtidos com os maiores gastos com insumos, observados no processamento 7.

As alocações dos insumos indicadas pelos processamentos são apresentadas nas Tabelas 17 e 18. Observa-se que os adubos e defensivos indicados para o processamento que retornou o maior lucro (2B) diferem daqueles indicados no processamento que retornou a maior produção de café cereja e produção total (7).

Tabela 17 – Alocação dos insumos indicadas pelos processamentos 1, 2A, 2B, 2C, 4A, 4B, 4C, 4D e 5 para o cenário 1

Talhão	Processamento 1, 4A, 4B, 4C e 4D			Processamento 2A E 2B			Processamento 2C E 5		
	Adubo macro-nutriente	Adubo micro-nutriente	Controle fitossanitário	Adubo macro-nutriente	Adubo micro-nutriente	Controle fitossanitário	Adubo macro-nutriente e	Adubo micro-nutriente	Controle fitossanitário
1	A3	A6	C1	A3	A6	C1	A3	A6	C1
2	A3	A4	C2	A3	A4	C2	A3	A4	C2
3	A1	A4	C2	A1	A4	C2	A3	A6	C1
4	A3	A5	C2	A3	A5	C2	A3	A5	C2
5	A3	A6	C1	A3	A6	C1	A3	A6	C1
6	A3	A4	C2	A3	A4	C2	A3	A4	C2
7	A3	A4	C1	A3	A4	C1	A3	A4	C1
8	A3	A4	C2	A3	A4	C1	A3	A4	C1

Fonte: Resultados da pesquisa.

Tabela 18 – Alocação dos insumos indicadas pelos processamentos 3, 6 e 7 para o cenário 1

Talhão	Processamento 3			Processamento 6			Processamento 7		
	Adubo macro-nutriente	Adubo micro-nutriente	Controle fitossanitário	Adubo macro-nutriente	Adubo micro-nutriente	Controle fitossanitário	Adubo macro-nutriente	Adubo micro-nutriente	Controle fitossanitário
1	A3	A4	C1	A3	A6	C1	A3	A6	C1
2	A3	A4	C2	A3	A6	C1	A3	A6	C1
3	A3	A4	C2	A1	A4	C2	A3	A4	C1
4	A3	A5	C2	A3	A5	C2	A3	A5	C2
5	A3	A6	C1	A3	A6	C1	A3	A6	C1
6	A3	A4	C2	A3	A6	C1	A3	A6	C1
7	A3	A4	C1	A3	A6	C1	A3	A6	C1
8	A3	A4	C2	A3	A6	C1	A3	A6	C1

Fonte: Resultados da pesquisa.

Os processamentos 1, 2, 3, 6 e 7 indicaram o mesmo seqüenciamento de colheita, com 34,7 ha colhidos mecanicamente e 20 ha manualmente (vide Tabela 19). Houve alteração no seqüenciamento de colheita indicado conforme se restringia a área máxima a ser colhida mecanicamente, além do aumento da concentração de colheita manual para o mês de setembro.

Isso é evidenciado nas Tabelas 20 a 23 que mostram as áreas colhidas manual e mecanicamente por mês para os processamentos 4A, 4B, 4C e 4D, respectivamente.

Tabela 19 – Seqüenciamento de colheita indicado para os processamentos 1, 2, 3, 6 e 7 para o cenário 1

Mês Colheita (M)	Tipo de Colheita (O)	Área colhida (ha) por talhão (T)							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Maio	MAQ			2,5		2,2			
Junho	MAQ	1,8				2,8	5,4		
Julho	MAQ	3,9						6,1	
Julho	MAN		10						
Agosto	MAQ							3,1	6,9
Setembro	MAQ								10

Fonte: Resultados da pesquisa.

Tabela 20 – Seqüenciamento de colheita indicado para o processamento 4A para o cenário 1

Mês Colheita (M)	Tipo de Colheita (O)	Área colhida (ha) por talhão (T)							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Maio	MAQ	1,8		0,7		5			
Junho	MAQ	3,9						3,6	
Julho	MAQ							5,6	1,9
Julho	MAN		10	1,8					
Agosto	MAQ								7,5
Setembro	MAQ								7,5
Setembro	MAN						5,4		

Fonte: Resultados da pesquisa.

Tabela 21 – Seqüenciamento de colheita indicado para o processamento 4B para o cenário 1

Mês Colheita (M)	Tipo de Colheita (O)	Área colhida (ha) por talhão (T)							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Maio	MAQ					5			
Junho	MAQ	5							
Julho	MAQ	0,7						4,3	
Julho	MAN		10	2,5					
Agosto	MAQ							4,9	0,1
Setembro	MAQ								5
Setembro	MAN							5,4	11,8

Fonte: Resultados da pesquisa.

Tabela 22 – Seqüenciamento de colheita indicado para o processamento 4C para o cenário 1

Mês Colheita (M)	Tipo de Colheita (O)	Área colhida (ha) por talhão (T)							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Maio	MAQ					2,5			
Maio	MAN				4				
Junho	MAQ					2,5			
Julho	MAQ	2,5							
Julho	MAN		10	2,5					
Agosto	MAQ	2,5							
Setembro	MAQ	0,7						1,8	
Setembro	MAN							5,4	7,4
									16,9

Fonte: Resultados da pesquisa.

Tabela 23 – Seqüenciamento de colheita indicado para o processamento 4D para o cenário 1

Mês Colheita (M)	Tipo de Colheita (O)	Área colhida (ha) por talhão (T)							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Maio	MAN				4				
Julho	MAN		10	2,5					
Agosto	MAN	5,7							
Setembro	MAN					5	5,4	9,2	16,9

Fonte: Resultados da pesquisa.

2.3.2 Cenário 2

No cenário 2 buscou-se verificar como alterações nos parâmetros de entrada impactariam os resultados dos processamentos. Foram feitas modificações em alguns dados do modelo referentes a preço por qualidade de café e proporção da produção conforme a qualidade para os talhões 3 e 5, conforme descrito na Tabela 24.

Tabela 24 – Comparação entre os parâmetros do modelo para os cenários 1 e 2

Parâmetros	Cenários	
	1	2
Preço café cereja (R\$/sc)	300	310
Preço café verde (R\$/sc)	180	200
Preço café boia (R\$/sc)	200	215
Preço café varreção (R\$/sc)	150	120
Proporção café cereja*	0,30	0,35
Proporção café verde*	0,12	0,15
Proporção café boia*	0,49	0,45
Proporção café varreção*	0,09	0,05

Fonte: Resultados da pesquisa.

* Alteração na proporção da produção por qualidade para os talhões 3 e 5.

Os processamentos foram desenvolvidos de forma semelhante ao cenário 1, havendo alterações nos valores assumidos pelos parâmetros, conforme descrito na Tabela 25. Os pesos entre os objetivos considerados permaneceram iguais. Diante das mudanças descritas, observou-se que o processamento 7 passou a retornar o maior lucro e a maior produção total; entretanto, a maior produção de café cereja passou a ser retornada pelo processamento 6 (vide Tabela 26). Não houve impacto sobre o custo de colheita e seu seqüenciamento, permanecendo constantes as áreas colhidas mecanicamente e manualmente em cada mês para todos os processamentos. De um modo geral, em relação ao cenário 1, houve aumento do lucro retornado, aumento dos gastos com insumos e elevação na quantidade produzida de café cereja e na produção total.

Tabela 25 - Equações forçadas nos processamentos 2 a 7 do cenário 1³

Processamento	Equação forçada	Parâmetro alterado	Valor assumido pelo parâmetro alterado
1	-	-	-
2A	21	γ	543.894
2B	21	γ	545.703
2C	21	γ	546.909
3	22	μ	129.083
4A	20	λ	15
4B	20	λ	10
4C	20	λ	5
4D	20	λ	0
5	20 e 21	γ	546.909
		λ	5
6	23	ϵ	727
7	24	η	2.331

Fonte: Dados da pesquisa.

Tabela 26 – Resultados dos processamentos para o cenário 2

Processamento	Lucro (L)	Renda (R)	Gasto Insumo (G)	Custo Colheita (C)	Custo Administrativo (D)	Custo Beneficiamento (B)	Produção Café Cereja (E)	Produção Total (Z)
1	191.530,90	543.893,00	129.083,70	118.570,80	48.427,50	56.280,00	722,40	2.313,00
2A	192.131,60	545.702,30	129.788,40	118.570,80	48.427,50	56.784,00	725,03	2.320,50
2B	192.183,70	546.908,60	130.606,60	118.570,80	48.427,50	57.120,00	726,78	2.325,50
2C	192.056,20	546.961,30	130.954,80	118.570,80	48.427,50	56.952,00	726,65	2.325,90
3	187.636,80	536.012,50	125.433,30	118.570,80	48.427,50	55.944,00	712,26	2.279,20
4A	189.356,90	543.893,00	129.083,70	120.744,80	48.427,50	56.280,00	722,40	2.313,00
4B	178.523,80	543.893,00	129.083,70	131.577,90	48.427,50	56.280,00	722,40	2.313,00
4C	159.798,50	543.893,00	129.083,70	150.303,20	48.427,50	56.280,00	722,40	2.313,00
4D	127.848,40	543.893,00	129.083,70	182.253,30	48.427,50	56.280,00	722,40	2.313,00
5	160.323,80	546.961,30	130.954,80	150.303,20	48.427,50	56.952,00	726,65	2.325,90
6	192.108,30	548.167,60	131.773,00	118.570,80	48.427,50	57.288,00	728,40	2.330,90
7	192.474,10	548.182,90	132.094,50	118.570,80	48.427,50	56.616,00	727,92	2.331,40

Fonte: Resultados da pesquisa.

³ γ – valor (R\$) da renda (R); μ – valor (R\$) do gasto (G); λ – área (ha) colhida mecanicamente; ϵ – quantidade (sacas) de café cereja; η – quantidade (sacas) de café total.

Como resultado do primeiro processamento, obteve-se um lucro de R\$ 191.530,90 oriundo de uma renda de R\$ 543.893,00 e da qual foram subtraídos os gastos com insumos no valor de R\$ 129.083,70, custo de colheita de R\$ 118.570,80, custo administrativo de R\$ 48.427,50 e custo de beneficiamento de R\$ 56.280,00. Neste caso, foi indicada uma produção de 722,40 sacas de café cereja e 2.313 sacas de café no total (vide Tabela 25).

Os comportamentos dos objetivos considerados diante das modificações impostas pelos processamentos 2 a 7 foram semelhantes aos descritos para o cenário 1. As exceções dizem respeito ao processamento 4D e, conforme destacado anteriormente, aos processamentos 6 e 7. No primeiro caso não houve incremento da produção de café cereja e de café total quando se forçou que a totalidade da safra fosse colhida manualmente. No processamento 6 o volume de café cereja produzido foi maior. No processamento 7, os valores do volume total de café produzido, da renda e do lucro foram mais expressivos.

Essas relações podem ser melhor visualizadas nas Figuras 19 e 20 que comparam os objetivos de lucro (L), gasto com insumo (G) e produção de café cereja (E) e lucro (L) com custo de colheita (C) e produção de café total, respectivamente, para os resultados encontrados nos processamentos para o cenário 2.

Nesse cenário, o maior lucro (processamento 7) está relacionado à maior produção total e ao maior gasto com insumo, compensados pela maior renda. Uma redução nos gastos com insumos foi acompanhada por uma queda significativa na produção de café cereja e na produção total (processamento 3) (vide Figuras 13 e 14 e Tabela 26).

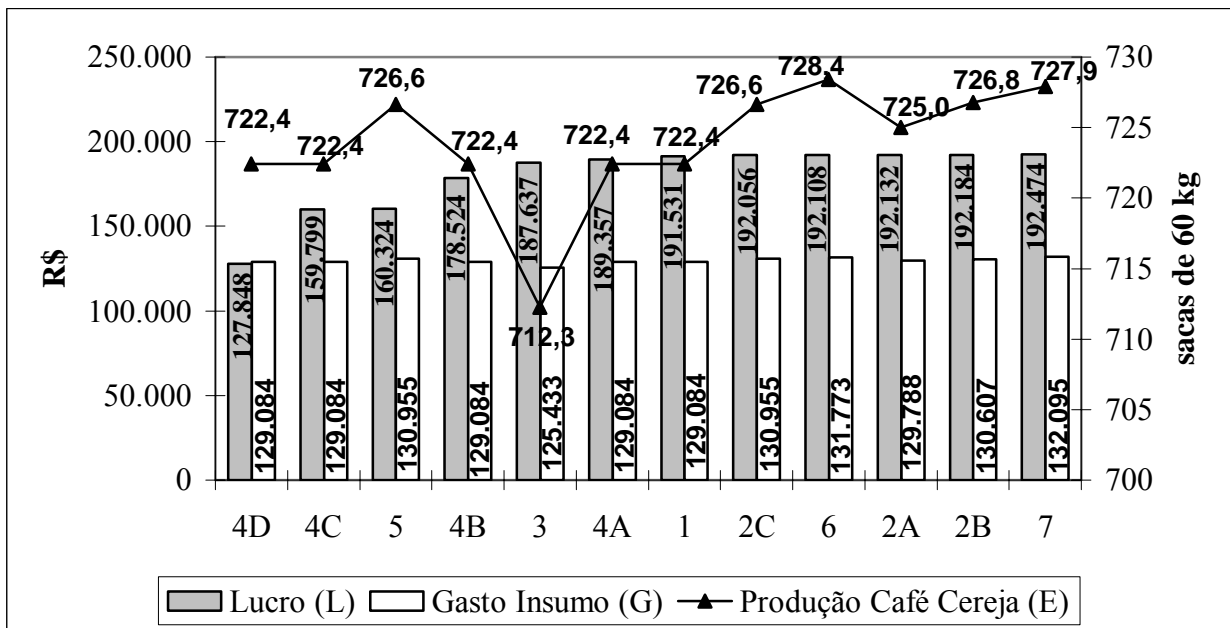


Figura 13 - Resultados de lucro (L), gastos com insumos (G) e produção de café cereja (E) obtidos com os processamentos desenvolvidos para o cenário 2

Fonte: Resultados da pesquisa.

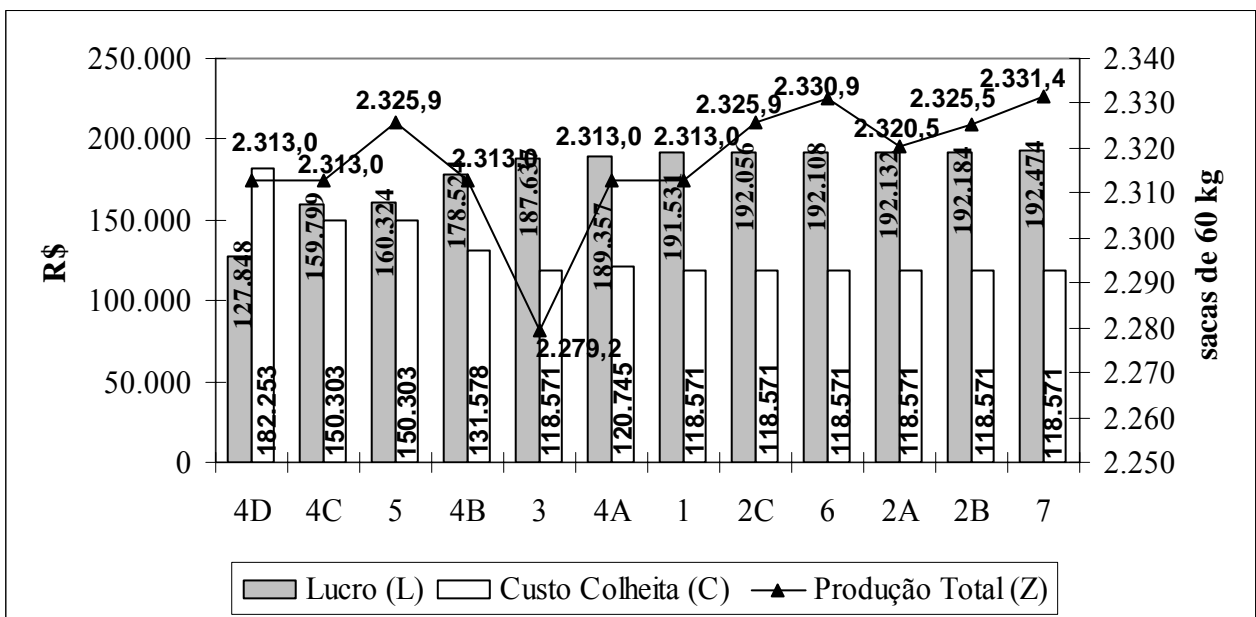


Figura 14 - Resultados de lucro (L), custo de colheita (C) e produção total de café (Z) obtidos nos processamentos desenvolvidos para o cenário 2

Fonte: Resultados da pesquisa.

As alocações dos insumos indicadas pelos processamentos são apresentadas nas Tabelas 27, 28 e 29. Observa-se que as indicações de insumos que resultam em maior retorno de lucro e produção total diferem daquela que resulta em maior produção de café cereja para os talhões 3 e 7.

Tabela 27 - Alocação dos insumos indicadas pelos processamentos 1, 2A, 2C e 5 para o cenário 2

Talhão	Processamento 1			Processamento 2A			Processamento 2C e 5		
	Adubo macro-nutriente	Adubo micro-nutriente	Controle fitossanitário	Adubo macro-nutriente	Adubo micro-nutriente	Controle fitossanitário	Adubo macro-nutriente	Adubo micro-nutriente	Controle fitossanitário
1	A3	A6	C1	A3	A6	C1	A3	A6	C1
2	A3	A4	C2	A3	A4	C2	A3	A4	C2
3	A1	A4	C2	A3	A4	C1	A3	A4	C1
4	A3	A5	C2	A3	A5	C2	A3	A5	C2
5	A3	A6	C1	A3	A6	C1	A3	A6	C1
6	A3	A4	C2	A3	A4	C2	A3	A4	C1
7	A3	A4	C1	A3	A4	C1	A3	A4	C1
8	A3	A4	C2	A3	A4	C1	A3	A4	C1

Fonte: Resultados da pesquisa.

Tabela 28 - Alocação dos insumos indicadas pelos processamentos 2B, 3, 4A, 4B, 4C, 4D e 6 para o cenário 2

Talhão	Processamento 2B			Processamento 3, 4A, 4B, 4C e 4D			Processamento 6		
	Adubo macro-nutriente	Adubo micro-nutriente	Controle fitossanitário	Adubo macro-nutriente	Adubo micro-nutriente	Controle fitossanitário	Adubo macro-nutriente	Adubo micronutriente	Controle fitossanitário
1	A3	A6	C1	A3	A6	C1	A3	A6	C1
2	A3	A4	C2	A3	A4	C2	A3	A4	C2
3	A3	A6	C1	A1	A4	C2	A3	A6	C1
4	A3	A5	C2	A3	A5	C2	A3	A5	C2
5	A3	A6	C1	A3	A6	C1	A3	A6	C1
6	A3	A4	C2	A3	A4	C2	A3	A4	C1
7	A3	A4	C1	A3	A4	C1	A3	A4	C1
8	A3	A4	C1	A3	A4	C1	A3	A4	C1

Fonte: Resultados da pesquisa.

Tabela 29 - Alocação dos insumos indicada pelo processamento 7 para o cenário 2

Talhão	Processamento 7		
	Adubo macronutriente	Adubo micronutriente	Controle fitossanitário
1	A3	A6	C1
2	A3	A4	C2
3	A1	A4	C2
4	A3	A5	C2
5	A3	A6	C1
6	A3	A4	C2
7	A3	A6	C1
8	A3	A4	C1

Fonte: Resultados da pesquisa.

2.3.3 Cenário 3

No cenário 3 buscou-se incorporar ao modelo pesos diferentes aos objetivos considerados e verificar qual seria o impacto sobre os resultados (Tabela 30). Foram priorizadas a obtenção de lucro e a produção de café cereja. Os dados de entrada do modelo correspondem aos utilizados no cenário 2.

Tabela 30 – Pesos concedidos aos múltiplos objetivos considerados

Objetivo	Peso
Lucro (L)	0,4
Gastos com insumos (G)	0,1
Custo de colheita (C)	0,1
Produção de café cereja (E)	0,3
Produção total de café (Z)	0,1

Fonte: Dados da pesquisa.

De forma semelhante ao realizado para os dois cenários anteriores, o primeiro processamento não apresentou restrições forçadas enquanto nos processamentos 2 a 7 as restrições foram forçadas conforme descrito na Tabela 31. Os valores encontrados no primeiro

processamento serviram como base para a alteração dos parâmetros nos processamentos subseqüentes.

Tabela 31 - Equações forçadas nos processamentos 2 a 7 do cenário 3⁴

Processamento	Equação forçada	Parâmetro alterado	Valor assumido pelo parâmetro alterado
1	-	-	-
2A	21	γ	549.993
2B	21	γ	551.199
2C	21	γ	551.252
2D	21	γ	553.770
2E	21	γ	556.987
3	22	μ	132.799
4A	20	λ	15
4B	20	λ	10
4C	20	λ	5
4D	20	λ	0
5	20 e 21	γ	556.987
		λ	5
6A	23	ϵ	742
6B	23	ϵ	745
6C	23	ϵ	747
7	24	η	2.386

Fonte: Resultados da pesquisa.

Observa-se que neste cenário houve uma elevação no número de iterações para os processamentos 2 e 6 que forçam as restrições referentes a, respectivamente, renda (que impacta diretamente o lucro) e produção de café cereja. Na Tabela 32 fica evidente que a priorização dos objetivos de lucro e produção de café cereja permitiu que os processamentos retornassem valores mais elevados de lucro (L), produção de café cereja (E) e produção total (Z), quando comparados ao cenário 2. Para que isso fosse possível, foram exigidos maiores investimentos em insumos produtivos nas lavouras, refletidos pelo aumento no gastos (G).

⁴ γ – valor (R\$) da renda (R); μ – valor (R\$) do gasto (G); λ – área (ha) colhida mecanicamente; ϵ – quantidade (sacas) de café cereja; η – quantidade (sacas) de café total.

Tabela 32 - Resultados dos processamentos para o cenário 2

Processamento	Lucro (L)	Renda (R)	Gasto Insumo (G)	Custo Colheita (C)	Custo Administrativo (D)	Custo Beneficiamento (B)	Produção Café Cereja (E)	Produção Total (Z)
1	193.074,80	549.992,90	132.799,20	118.570,80	48.427,50	57.120,00	730,55	2.338,90
2A	193.126,90	551.198,50	133.617,40	118.570,80	48.427,50	57.476,00	732,30	2.343,90
2B	192.999,40	551.251,30	133.965,60	118.570,80	48.427,50	57.288,00	732,17	2.344,30
2C	193.414,20	553.769,30	135.732,80	118.570,80	48.427,50	57.624,00	735,41	2.355,10
2D	194.132,70	556.986,80	138.231,80	118.570,80	48.427,50	57.624,00	739,55	2.368,90
2E	194.057,30	558.245,80	139.398,20	118.570,80	48.427,50	57.792,00	741,17	2.374,30
3	192.131,60	545.702,30	129.788,40	118.570,80	48.427,50	56.784,00	725,03	2.320,50
4A	190.900,70	549.992,30	132.799,20	120.744,80	48.427,50	57.120,00	730,55	2.338,90
4B	180.067,60	549.992,30	132.799,20	131.577,90	48.427,50	57.120,00	730,55	2.338,90
4C	161.342,40	549.992,30	132.799,20	150.303,20	48.427,50	57.120,00	730,55	2.338,90
4D	129.392,30	549.992,30	132.799,20	182.253,30	48.427,50	57.120,00	730,55	2.338,90
5	162.324,90	558.245,80	139.398,20	150.303,20	48.427,50	57.792,00	741,17	2.374,30
6A	194.472,10	560.763,80	141.165,40	118.570,80	48.427,50	58.128,00	744,41	2.385,10
6B	194.524,20	561.970,10	141.983,60	118.570,80	48.427,50	58.464,00	746,16	2.390,10
6C	192.713,60	564.704,10	146.696,10	118.570,80	48.427,50	58.296,00	749,48	2.402,00
7	194.524,20	561.970,10	141.983,60	118.570,80	48.427,50	58.464,00	746,16	2.390,10

Fonte: Resultados da pesquisa.

Os comportamentos dos objetivos considerados diante das modificações impostas pelos processamentos 2 a 7 foram semelhantes aos observados para o cenário 1 e 2. No processamento 2, ao se impor uma renda mínima, houve aumento do lucro (L), gasto com insumo (G), custo de beneficiamento (B), produção de café cereja (E) e produção total (Z). Com exceção da iteração 2E, os aumentos das despesas foram compensados pelo aumento da renda. Na iteração 2E houve redução do lucro em relação à iteração 2D (vide Tabela 32).

No processamento 3, em comparação ao processamento 1, a imposição da redução do gasto com insumo (G) ocasionou a redução da produção de café cereja (E) e a produção total (Z), impactando o lucro (L) de forma negativa (vide Tabela 32).

No quarto processamento, o aumento do uso da colheita manual, com custo mais elevado que a mecânica, encareceu a atividade, prejudicando o lucro (L). Entretanto, a quantidade de café cereja (E) e da produção total (Z) não foram alteradas em relação ao processamento 1. O

seqüenciamento da colheita indicado para cada um dos processamentos permaneceu tal como descrito para o cenário 1 (vide Tabela 32).

No processamento 5, forçar as restrições da renda mínima e da área máxima significou obter, em relação ao processamento 1, um aumento da produção de café cereja (E) e da produção total (Z), que não compensaram financeiramente o aumento do gasto com insumo (G), do custo da colheita (C) e do custo de beneficiamento (B) (vide Tabela 32).

No processamento 6, o valor mínimo de produção de café cereja (E) foi forçado, havendo melhora no lucro (L) retornado para nas iterações 6A e 6B. Entretanto, chega-se a um ponto, observado na iteração 6C, em que o aumento na produção de café cereja (E) não compensou os aumentos das despesas, impactando negativamente o lucro (L) (vide Tabela 32).

Por fim, no processamento 7, foi imposto um valor mínimo para produção total (Z). Os valores retornados foram semelhantes aos observados na iteração 6B (vide Tabela 32).

Os resultados encontrados nos processamentos 1 a 7 para os múltiplos objetivos considerados no cenário 3 são ilustrados nas Figuras 15 e 16. Fica evidente que os maiores valores de produção de café cereja (E) e produção total de café (Z) não refletem o maior lucro (L), em função do aumento do gasto com insumo (G), dado que o custo da colheita (C) se mantém constante. O maior lucro (L) foi encontrado nos processamentos 6B e 7, enquanto a maior produção de café cereja (E) e produção total (Z) foram encontradas no processamento 6C. O menor valor de gasto com insumo (G) é observado no processamento 3, enquanto o menor custo de colheita (C) só não é encontrado nos processamentos 4 e 5.

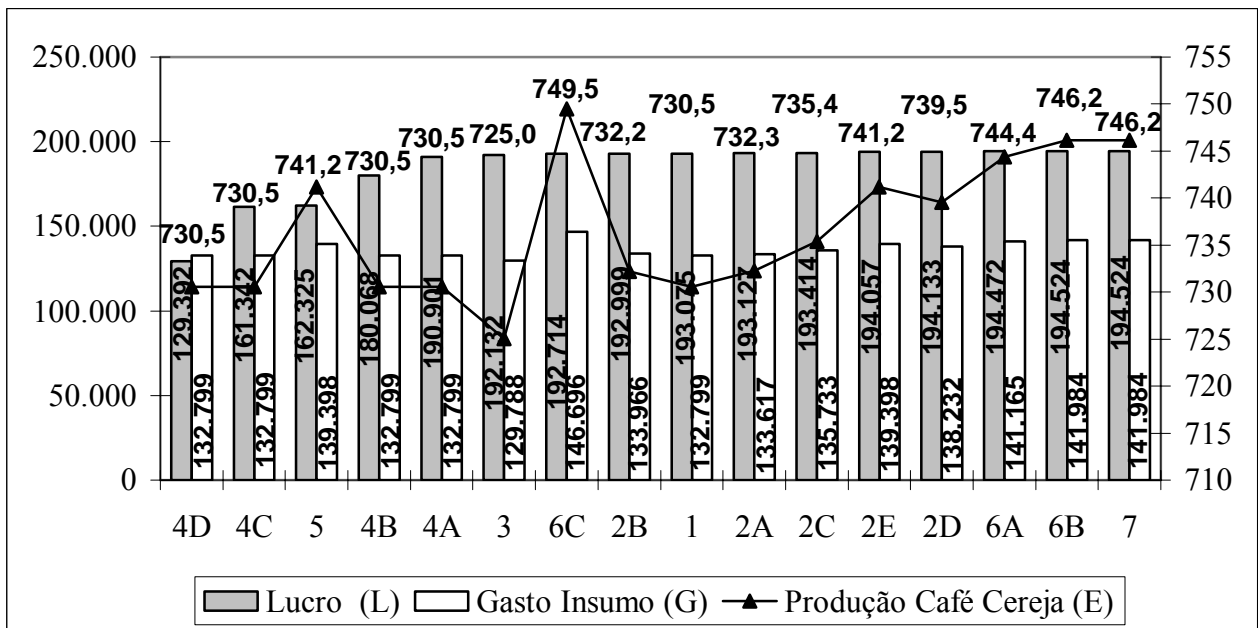


Figura 15 - Resultados de lucro (L), gastos com insumos (G) e produção de café cereja (E) obtidos com os processamentos desenvolvidos para o cenário 3

Fonte: Resultados da pesquisa.

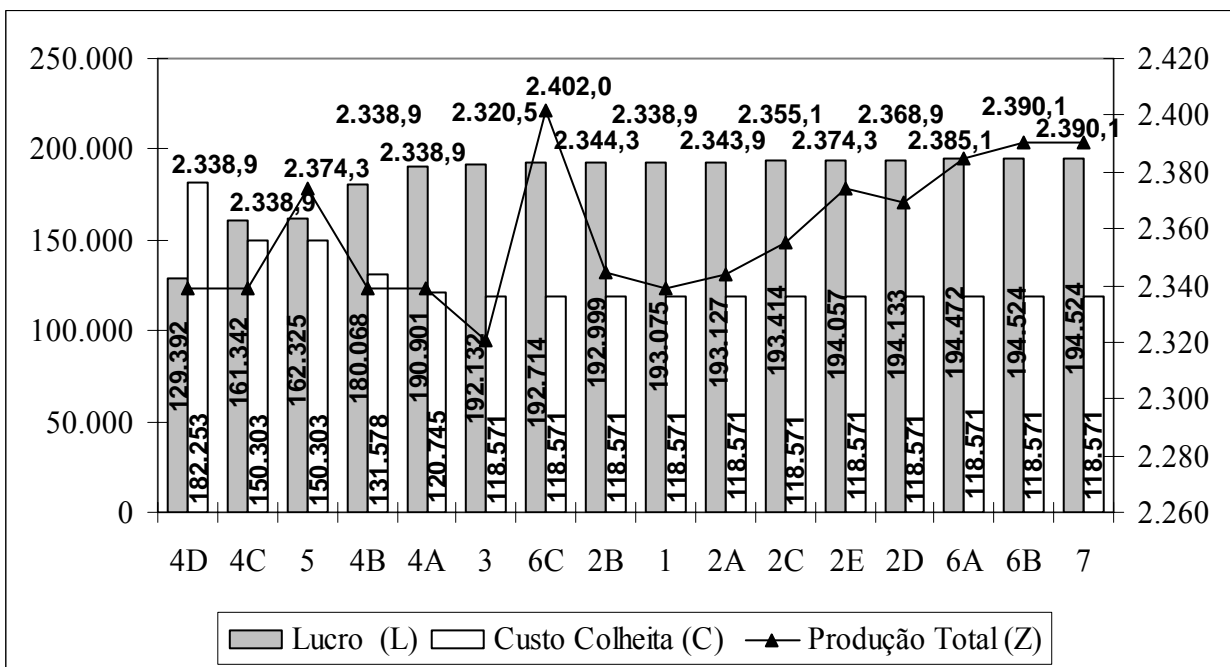


Figura 16 - Resultados de lucro (L), custo de colheita (C) e produção total de café (Z) obtidos nos processamentos desenvolvidos para o cenário 3

Fonte: Resultados da pesquisa.

As alocações dos insumos indicadas pelos processamentos são apresentadas nas Tabelas 33 a 36. Observa-se que as indicações de insumos que resultam em maior retorno de lucro (L) diferem daquela que resulta em maior produção de café cereja (E) e produção total (Z) para os talhões 3 e 8 apenas no tocante à adubação de micronutrientes. Para todos os talhões, em todos os processamentos, a adubação de macronutrientes indicada foi a mesma.

Tabela 33 - Alocação dos insumos indicadas pelos processamentos 1, 2A, 2B, 4A, 4B, 4C e 4D para o cenário 3

Talhão	Processamento 1, 4A, 4B, 4C, 4D			Processamento 2A			Processamento 2B		
	Adubo macro-nutriente	Adubo micro-nutriente	Controle fitossanitário	Adubo macro-nutriente	Adubo micro-nutriente	Controle fitossanitário	Adubo macro-nutriente	Adubo micro-nutriente	Controle fitossanitário
1	A3	A6	C1	A3	A6	C1	A3	A6	C1
2	A3	A4	C2	A3	A4	C2	A3	A4	C2
3	A3	A4	C1	A3	A6	C1	A3	A4	C1
4	A3	A5	C2	A3	A5	C2	A3	A5	C2
5	A3	A6	C1	A3	A6	C1	A3	A6	C1
6	A3	A4	C2	A3	A4	C2	A3	A4	C1
7	A3	A6	C1	A3	A6	C1	A3	A6	C1
8	A3	A4	C1	A3	A4	C1	A3	A4	C1

Fonte: Resultados da pesquisa.

Tabela 34 - Alocação dos insumos indicadas pelos processamentos 2C, 2D, 2E e 5 para o cenário 3

Talhão	Processamento 2C			Processamento 2D			Processamento 2E e 5		
	Adubo macro-nutriente	Adubo micro-nutriente	Controle fitossanitário	Adubo macro-nutriente	Adubo micro-nutriente	Controle fitossanitário	Adubo macro-nutriente	Adubo micro-nutriente	Controle fitossanitário
1	A3	A6	C1	A3	A6	C1	A3	A6	C1
2	A3	A4	C2	A3	A6	C1	A3	A6	C1
3	A3	A4	C1	A3	A4	C1	A3	A4	C1
4	A3	A5	C2	A3	A5	C2	A3	A5	C2
5	A3	A6	C1	A3	A6	C1	A3	A6	C1
6	A3	A6	C1	A3	A4	C2	A3	A4	C1
7	A3	A6	C1	A3	A6	C1	A3	A6	C1
8	A3	A4	C1	A3	A4	C1	A3	A4	C1

Fonte: Resultados da pesquisa.

Tabela 35 - Alocação dos insumos indicadas pelos processamentos 3, 6A 6B e 7 para o cenário 3

Talhão	Processamento 3			Processamento 6A			Processamento 6B e 7		
	Adubo macro-nutriente	Adubo micro-nutriente	Controle fitossanitário	Adubo macro-nutriente	Adubo micro-nutriente	Controle fitossanitário	Adubo macro-nutriente	Adubo micro-nutriente	Controle fitossanitário
1	A3	A6	C1	A3	A6	C1	A3	A6	C1
2	A3	A4	C2	A3	A6	C1	A3	A6	C1
3	A3	A4	C1	A3	A4	C1	A3	A6	C1
4	A3	A5	C2	A3	A5	C2	A3	A5	C2
5	A3	A6	C1	A3	A6	C1	A3	A6	C1
6	A3	A4	C2	A3	A6	C1	A3	A6	C1
7	A3	A4	C1	A3	A6	C1	A3	A6	C1
8	A3	A4	C1	A3	A4	C1	A3	A4	C1

Fonte: Resultados da pesquisa.

Tabela 36 - Alocação dos insumos indicada pelo processamento 6C para o cenário 3

Talhão	Processamento 6C		
	Adubo macronutriente	Adubo micronutriente	Controle fitossanitário
1	A3	A6	C1
2	A3	A6	C1
3	A3	A4	C1
4	A3	A5	C2
5	A3	A6	C1
6	A3	A6	C1
7	A3	A6	C1
8	A3	A6	C1

Fonte: Resultados da pesquisa.

2.3.4 Comparativo entre os cenários

Como evidenciado ao longo do texto, os múltiplos objetivos considerados no modelo foram lucro (L), gasto com insumo (G), custo de colheita (C), produção de café cereja (E) e produção total de café (Z), sendo priorizados, no terceiro cenário, o primeiro e quarto objetivos.

No primeiro cenário buscou-se confirmar se as funções, equações e inequações descritas no modelo representavam de forma adequada as simplificações das relações entre os objetivos

para o sistema produtivo da Fazenda Santa Maria da Boa Vista; e obter-se os valores ótimos a serem atribuídos aos objetivos.

No segundo cenário foram alterados parâmetros de entrada do modelo referentes ao preço do café por qualidade e à proporção por qualidade de café produzido nos talhões 3 e 5. Essas variações condizem com as dificuldades enfrentadas no dia - a - dia pelo produtor de café. De um modo geral, os resultados encontrados apresentaram maiores valores para os objetivos considerados, exceto para o custo de colheita (C).

No terceiro cenário foram incorporados os pesos aos objetivos, priorizando o lucro (L) e a produção de café cereja (E). Os dados de entradas permaneceram os mesmos do cenário 2. O que se observou foi um aumento dos valores dos múltiplos objetivos considerados, exceto para o custo de colheita (C), indicando que o aumento dos investimentos nas lavouras pode retornar uma maior produção e, conseqüentemente, maior lucro.

Para cada cenário, houve variação quanto aos insumos (adubos e defensivos) utilizados, indicando que suas curvas de resposta na produção e seus custos influem diretamente na produção de café e no resultado do negócio. Observa-se que em nenhum dos cenários os processamentos que retornaram maior lucro (L) foram iguais aos processamentos que retornaram maior produção de café cereja (E).

As Figuras 17, 18 e 19 ilustram a curva de compensação entre lucro (L) e produção de café cereja (E) para os cenários 1, 2 e 3, respectivamente. Observa-se que do cenário 1 para o cenário 2 e 3, a curva se desloca para a direita no eixo x e para cima no eixo y, indicando aumento dos valores de ambos os objetivos. Nos três cenários, os processamentos 4B, 4C e 4D, em que há aumento da colheita manual, o lucro foi significativamente prejudicado, indicando que a colheita mecânica traz eficiência ao processo produtivo.

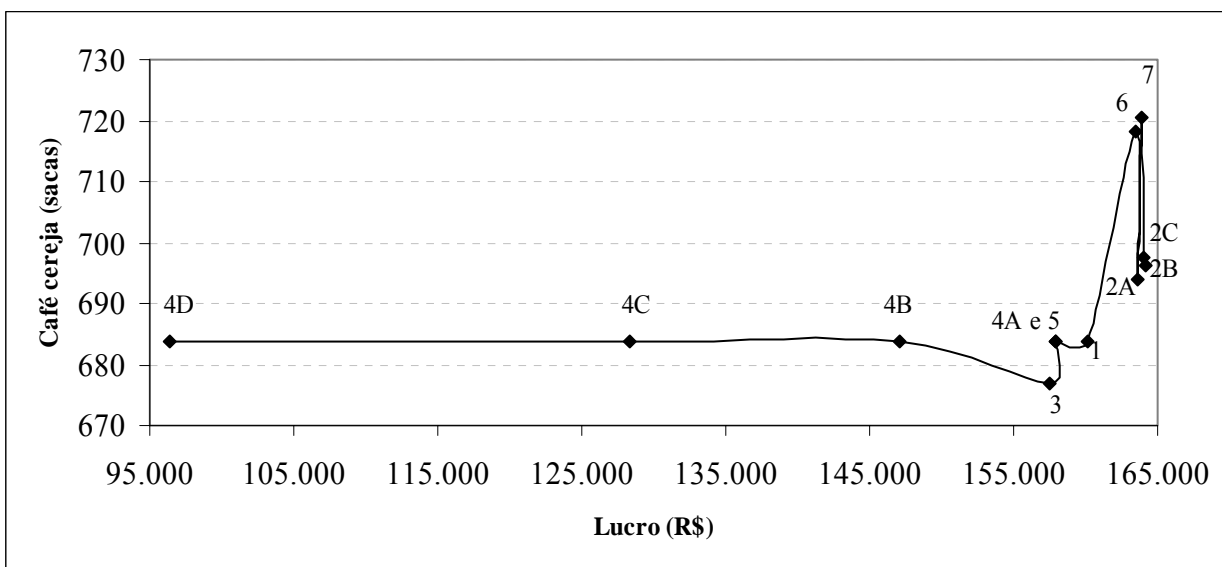


Figura 17 - Curva de compensação entre lucro (L) e produção de café cereja (E) para o cenário 1

Fonte: Resultados da pesquisa.

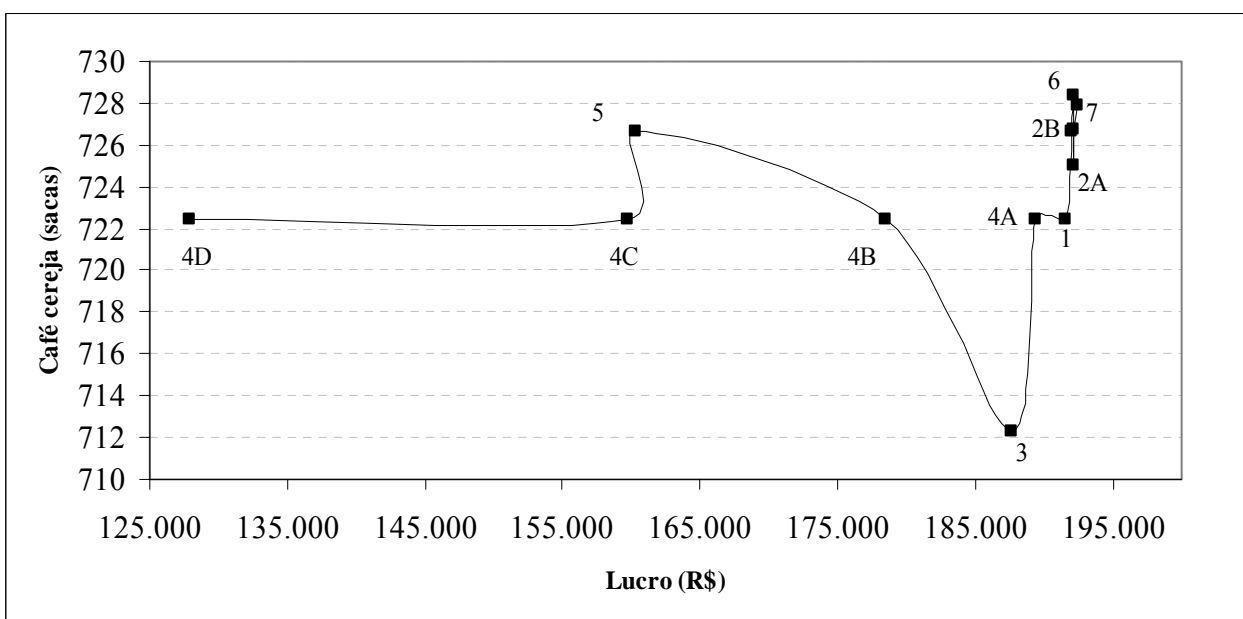


Figura 18 - Curva de compensação entre lucro (L) e produção de café cereja (E) para o cenário 2

Fonte: Resultados da pesquisa.

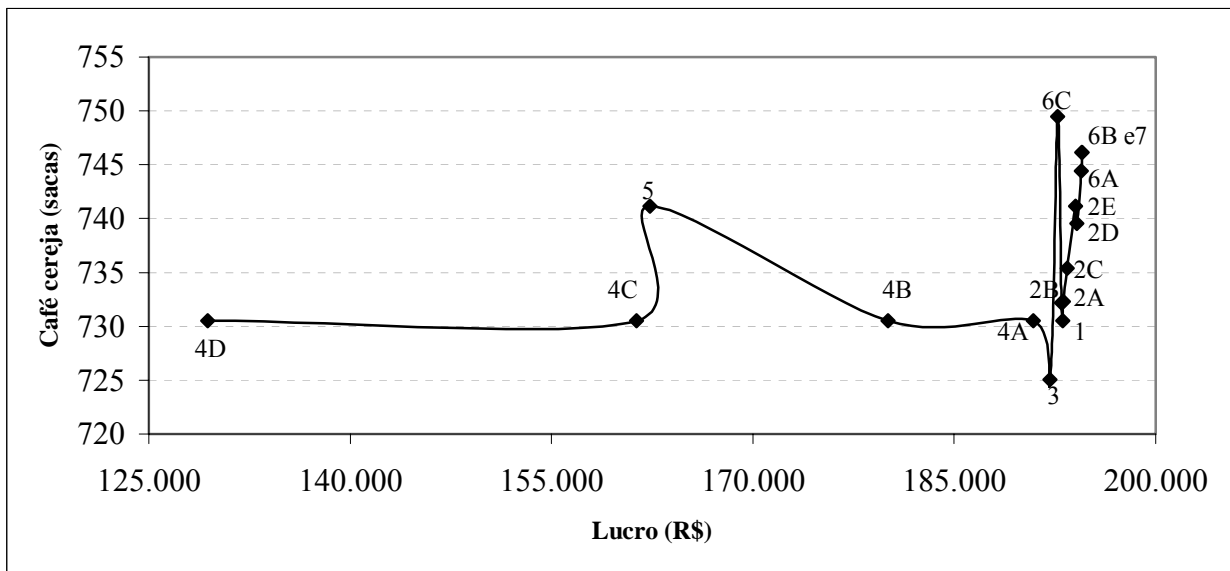


Figura 19 - Curva de compensação entre lucro (L) e produção de café cereja (E) para o cenário 3
 Fonte: Resultados da pesquisa.

De uma forma geral, se pode afirmar que, conforme se aumenta a área colhida mecanicamente, menor será o custo da colheita, dado que a colheita manual é mais cara que a mecânica (vide Figura 20).

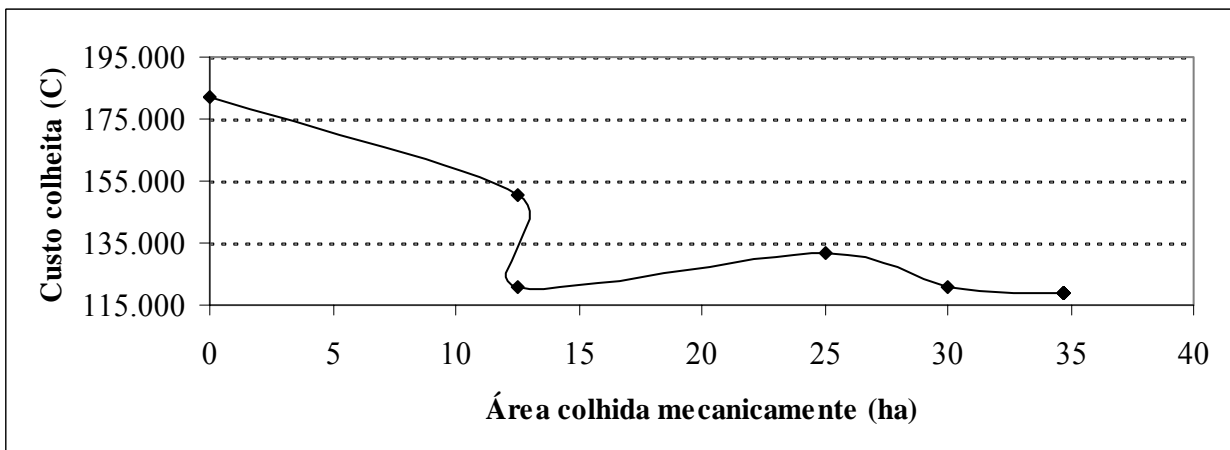


Figura 20 – Custo de colheita (R\$) conforme a área colhida mecanicamente (ha)

Fonte: Resultados da pesquisa.

3 CONCLUSÕES

O modelo matemático proposto se mostrou adequado como uma ferramenta administrativa auxiliar para o processo de tomada de decisão no gerenciamento de uma propriedade agrícola produtora de café. Sua capacidade em projetar diferentes cenários diante de mudanças nos dados fornecidos e da incorporação de pesos aos objetivos considerados se provou útil para a análise de diversos resultados oriundos a partir de diferentes alocações dos recursos produtivos. Isso evidencia que seus objetivos de auxiliar no planejamento da produção, na programação do seqüenciamento da colheita das lavouras e na determinação do volume ótimo de produção de cafés finos foram atingidos.

Sua elaboração buscou simplificar um sistema produtivo de café preservando a interação entre as variáveis de maior impacto à atividade, aos custos de produção e à renda. Para identificar as variáveis que apresentam maior relevância, foi realizada uma revisão de literatura focando os aspectos técnicos da produção de café e consideradas sugestões do consultor técnico da propriedade estudada assim como do produtor.

O modelo matemático de programação linear multiobjetivo foi composto por uma função multiobjetivo, três conjuntos de restrições contábeis, sete conjuntos restrições técnicas e dois conjuntos de variáveis endógenas. A função multiobjetivo considerou os objetivos de maximizar o lucro, minimizar gasto com insumo, minimizar custo de colheita, maximizar produção de café cereja e maximizar a produção total de café. As restrições contábeis se referiram ao lucro, produção de café cereja e produção total de café. As restrições técnicas disseram respeito a gasto com insumos, tipo de colheita e área total a ser colhida, além de considerar as restrições que foram forçadas nos processamentos e que foram relativas à renda mínima, gasto máximo com insumo, quantidade mínima de produção de café cereja e quantidade mínima de produção total de café.

Foram analisados três cenários que buscaram: comprovar que as funções, equações e inequações consideradas refletiam de forma adequada as simplificações feitas para o sistema produtivo de café da Fazenda Santa Maria da Boa Vista; alterar parâmetros de entrada e incorporar pesos aos objetivos considerados para verificar como seria a mudança de comportamento do modelo.

No total, foram repetidos para cada um dos cenários sete processamentos. No primeiro não foi forçada nenhuma restrição de forma a se obter os valores mínimos ou máximos dos objetivos considerados. No segundo, foi imposta uma renda mínima. No terceiro, um gasto máximo com insumo. No quarto, se restringiu a área de colheita mecânica até que a totalidade da colheita fosse manual. No quinto forçou-se uma renda mínima ao mesmo tempo em que se restringia a área com colheita mecânica. No sexto processamento forçou-se uma produção mínima de café cereja e no sétimo, uma produção total mínima.

Nos três cenários e para os sete processamentos, o comportamento entre os objetivos foi semelhante. Ao se incorporar pesos aos objetivos de forma a priorizar o lucro e a produção de café cereja, observou-se que poderiam ser obtidos resultados melhores para esse objetivos, mantendo-se constantes os dados de entrada do modelo. Os seqüenciamentos de colheita indicados para os processamentos foram semelhantes nos três cenários, ficando evidente a eficiência da colheita mecânica no sistema produtivo.

O modelo apresenta um elevado potencial para ser replicado para outras propriedades agrícolas. Apesar de o presente trabalho ilustrar um estudo de caso, durante a elaboração do modelo foi considerada a facilidade com que a estrutura seria adaptada a outras propriedades. Assim, o modelo está preparado para: incorporar um maior número de lavouras com diferentes características e potenciais produtivos; incluir outras alternativas de insumos produtivos, desde novos adubos e defensivos que são lançados no mercado até outras tecnologias de produção, como sistemas de irrigação.

O presente modelo é bastante dependente de curvas de resposta de produção que são bastante específicas para cada propriedade e para cada uma de suas lavouras. É neste sentido que se pode afirmar que quanto melhor a qualidade dos dados empíricos, melhores e mais confiáveis serão os resultados do modelo.

Entretanto, uma das dificuldades encontradas para o desenvolvimento do modelo foi a coleta dos dados empíricos. São poucos os cafeicultores que apresentam uma gestão de sua propriedade com monitoramento das alocações dos insumos utilizados. São mais raros ainda aqueles que fazem observações das curvas de resposta conforme os insumos aplicados. Daí a necessidade de se estimar o potencial produtivo da lavoura conforme o produto aplicado para a

adubação de micronutrientes e a eficiência do controle fitossanitário conforme a linha de produto utilizada.

Em função da falta de dados empíricos, os custos de beneficiamento e de administração foram considerados constantes. Para o primeiro foi estimado um custo por saca, enquanto que para o segundo, um custo por hectare. Um próximo desafio consiste no levantamento de dados empíricos que possam auxiliar na identificação das variáveis que mais afetam esses custos visando um aprimoramento do modelo.

Nesse sentido, poderiam ser verificadas quais estruturas de beneficiamento seriam ótimas para um processamento do café produzido e que permitiriam um equilíbrio entre custo e qualidade do processamento. Outra sugestão de melhoria consiste na avaliação de qualidades que caracterizariam o sistema como sustentável do ponto de vista econômico e social.

Em termos administrativos, o presente modelo focou a sustentabilidade econômica da produção de café. Diante do cenário atual, não se pode negligenciar as sustentabilidades sociais e ambientais dos sistemas produtivos, ficando o desafio de incorporar esses dois objetivos ao modelo matemático de programação linear multiobjetivo proposto.

REFERÊNCIAS

ANNETTS, J.E.; AUDSLEY, E. Multiple objective linear programming for environmental farm planning. **Journal of the Operational Research Society**, Silsoe, v. 53, p. 933-943, 2002.

AVRIEL, M.; GOLANY, B. **Mathematical programming for industrial engineers**. New York: Marcel Dekker, 1996. 637 p.

BARATA, M.Q.F.B. **Otimização econômica do corte e reforma de canaviais**. 1992. 173 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1992.

BARTHOLO, G.F.; GUIMARÃES, P.T.G. Cuidados na colheita e preparo do café. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 18, n. 187, p. 33-42, 1997.

CAIXETA FILHO, J.V. **Estrutura de modelagem para programação de colheita de laranja**. São Paulo: Epusp, 1993. 25 p.

CARVALHO, G.R. **Avaliação de sistemas de produção de café na região Sul de Minas Gerais: um modelo de análise de decisão**. 2002. 68 p. Dissertação (Mestrado em Economia Aplicada) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

CARVALHO, V.D.; CHAGAS, S.J.R.; SOUZA, S.M.C. Fatores que afetam a qualidade do café. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 18, n. 187, p. 5-20, 1997.

COELLO, C.A.C. Evolutionary multi-objective optimization: a critical review. In: SARKER, R.; MOHAMMADIAN, M.; YAO, X. **Evolutionary optimization**. Secaucus: Kluwer Academic Publishers, 2002. 117 p.

COFFEE BUSINESS. **Estatísticas**. Disponível em <<http://www.coffeebusiness.com>>. Acesso em 20 jul. 2006.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Cafés do Brasil: safra 2006/2007, segundo levantamento abril/2006**. 15 p. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 13 ago. 2006.

CORTEZ, J.G. **Efeito de espécies e cultivares e do processamento agrícola e industrial nas características da bebida do café**. 2001. 71 p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2001.

DECHEN, A.R.; COSTA, J.D. **Produção de café**. Piracicaba: ESALQ / SEBRAE, 1994. 21 p.

DIAS, C.A. **Logística e comercialização de cafés especiais no Estado do Espírito Santo**. 2003. 172 p. Tese (Mestrado em Administração) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2003.

DUCHEYNE, E.I.; WULF, R.; BAETS, B. Single versus multiple objective genetic algorithms for solving the even-flow forest management problem. **Forest Ecology and Management**, Oxford, v. 201, n. 2-3, p. 259-273, 2004.

FARINA, E.M.M.Q.; ZYLBERSZTAJN, D. **Competitividade no agribusiness brasileiro**. São Paulo: PENSA/FIA/FEA/USP, 1998. 233 p.

FIDELIS, A.C.; REIS, R.P. Decisão no planejamento bianual da colheita florestal: o uso da programação inteira mista. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Brasília, v. 39, n. 2, p. 9-26, 2001.

FIELD, D. Goal programming for forest management. **Forest Science**, New Brunswick, v. 19, n. 2, p. 125-135, 1973.

GLEN, J.J. Mathematical models in farm planning: a survey. **Operations Research**, Massachusetts, v. 35, n. 5, p. 641-666, Sep./Oct. 1987.

GUNNARSSON, C.; HANSSON, P.A. Optimisation of field machinery for an arable farm converting to organic farming. **Agricultural Systems**, Oxford, v. 80, p. 85-103, 2004.

HAYASHI, K. Multicriteria analysis for agricultural resource management: a critical survey and future perspectives. **European Journal of Operational Research**, Oxford, v. 122, p. 486-500, 2000.

HEMERLY, F.X. **Cadeia produtiva do café no Estado de São Paulo**: possibilidade de melhoria de sua competitividade no segmento agrícola. 2000. 208 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2000.

HENGSDIJK, H.; ITTERSUM, M.K. van. A goal-oriented approach to identify and engineer land use systems. **Agricultural Systems**, Oxford, v. 71, p. 231-247, 2002.

HIGGINS, A. Scheduling of road vehicles in sugarcane transport: a case study at an Australian sugar mill. **European Journal of Operational Research**, Oxford, v. 170, n. 3, p. 987-1000, May 2006.

KANGAS, J.; KANGAS, A. Multiple criteria decision support in forest management: the approach, methods applied and experiences gained. **Forest Ecology and Management**, Oxford, v. 207, p. 133-143, 2005.

KONING, G.H.J. de.; KEULEN, H. van.; RABBINGE, R.; JANSSEN, H. Determination of input and output coefficients of cropping systems in the European Community. **Agricultural Systems**, Oxford, v. 48, p. 485-502, 1995.

LARA, P.; STANCU-MINASIAN, I. Fractional programming: a tool for the assessment of sustainability. **Agricultural Systems**, Oxford, v. 62, p. 131-141, 1999.

LEAL, J.C.G. **Mapeamento da produtividade na colheita mecanizada do café**. 2002. 74 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

MARTIN, N.B.; VEGRO, C.L.R.; MORICOCHI, L. Custos e rentabilidade de diferentes sistemas de produção de café. **Informações Econômicas**, São Paulo, v. 25, n. 8, p. 35-47, ago. 1995.

MATIELLO, J.B. **O café**. São Paulo: Editora Globo S.A., 1991. 320 p.

MATIELLO, J.B. **Sistemas de produção na cafeicultura moderna**. Rio de Janeiro: MAARA / PROCAFÉ, abr. 1995. 102 p.

MESQUITA, J.M.C.; REIS, A.J.; REIS, R.P.; VEIGA, R.D.; GUIMARAES, J.M.P. Mercado de café: variáveis que influenciam o preço pago ao produtor. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 24, n. 2, p. 379-386, abr./jun. 2000.

MORICOCHI, L.; ALVES, H.S.; ASSUMPÇÃO, R. de. Alguns aspectos da economia cafeeira no Brasil. **Informações Econômicas**, São Paulo, v. 32, n. 10, p. 54-63, out. 2002.

NAGUMO, G.K.; FONTANA, G.; SOUZA, A.M; MILAN, M. Modelagem de operações mecanizadas para aplicação de defensivos em cultura cafeeira. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 2004, São Pedro. **A inserção da engenharia agrícola em projetos nacionais...** São Pedro, 2004. p. 112.

NELL, W.T.; NAPIER, R.J. **Strategic approach to farming success: securing competitive advantage in a turbulent global agricultural environment**. Bloemfontein: Wim Nell Agricultural Management Consultant, 2005. 323 p.

NEVO, A.; OAD, R.; PODMORE, T.H. An integrated expert system for optimal crop planning. **Agricultural Systems**, Oxford, v. 45, p. 73-92, 1994.

NOCEDAL, J. **Numerical optimization**. New York: Springer Science+Business Media, 1999. 634 p.

OHMAN, K.; LAMAS, T. Clustering of harvest activities in multi-objective long-term forest planning. **Forest Ecology and Management**, Oxford, v. 176, n. 1-3, p. 161-171, 2003.

OTERO, J.; MILAS, C. Modelling the spot prices of various coffee types. **Economic Modelling**, Oxford, v. 18, n. 4, p. 625-641, Dec. 2001.

PEREIRA, S.P.; BLISKA, F.M.M.; GIOMO, G.S.; CARDOSO, C.H.S. **Gestão de qualidade na cadeia produtiva do café**: qualidade da bebida, produção e competição por mercados exigentes. Disponível em: <<http://www.cafepoint.com.br>>. Acesso em: 4 out. 2007.

SCHOLER, M. Bitter or better future for coffee producers? **International Trade Forum**, Washington, n. 2, p. 9-11, 2004.

SILVA, F.M.; CARVALHO, G.R.; SLAVADOR, N. Mecanização da colheita do café. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 18, n. 187, p. 43-54, 1997.

SILVA, S.S.S. **Logística aplicada à colheita mecanizada de cereais**. 2004. 148 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

SOUZA, M.C.M. A qualidade no segmento de cafés especiais. **Informações FIPE**, São Paulo, n. 236, p. 24-26, maio 2000.

SOUZA, J.L.M. **Modelo para análise de risco econômico aplicado ao planejamento de projetos de irrigação para a cultura do cafeeiro**. 2001. 253 p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2001.

SOUZA, M.C.M.; SAES, M.S.M.; OTANI, M.N. Pequenos agricultores familiares e sua inserção no mercado de cafés especiais: uma abordagem preliminar. **Informações Econômicas**, São Paulo, v. 32, n. 11, p. 16-26, nov. 2002.

TAVARES, E.L.A. **A questão do café commodity e sua precificação:** o “C Market” e a classificação, remuneração e qualidade do café. 2002. 207 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2002.

TEIXEIRA, S.M.; CHATTIN, B. Análise de distorções no mercado mundial de café: um modelo de programação matemática. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Brasília, v. 19, n. 2, p. 163-187, 1981.

WIT, C.T.; KEULEN, H.V.; SELIGMAN, N.G.; SPHARIM, I. Application of interactive multiple goal programming techniques for analysis and planning of regional agricultural development. **Agricultural Systems**, Oxford, v. 26, p. 211-230, 1980.

ZAMBOLIM, L. **Café:** produtividade, qualidade e sustentabilidade. Viçosa: UFV, 2000. 395 p.

ZANDER, P.; KACHELE, H. Modelling multiple objectives of land use for sustainable development. **Agricultural Systems**, Oxford, v. 59, p. 311-325, 1999.

ANEXO

ANEXO - Modelo matemático codificado para a linguagem do *software* GAMS

Sets T talhao

- Q qualidade do cafe fino ou convencional
- M meses disponiveis para colheita
- A qualidade da adubacao boa media ou ruim
- F qualidade do controle fitossanitario
- O tipo do colheita mecanica ou manual

;

PARAMETER PRODU(T,A,F) producao em sc por ha de cafe por talhao

PARAMETER COLHEITA(M,O,T) custo da colheita em rs por ha conforme os meses disponiveis e o tipo de colheita

PARAMETER CUSTOPROD(T,A,F) custo de producao em rs por ha

PARAMETER AREA(T) area do talhao em ha

PARAMETER PRECOCAFE(Q) preco do cafe em rs por sc

PARAMETER QUALIDADE (T,Q)

;

\$CALL GDXXRW.EXE c:\CAFE.xls Index=leitura!a2

\$GDXIN CAFE.gdx

\$LOAD T Q M A F O PRODU COLHEITA CUSTOPROD AREA PRECOCAFE
QUALIDADE

\$GDXIN

VARIABLES

X(T,A,F) variavel binaria

Y(M,O,T) quantidade a ser colhida de cafe em sacas em cada talhao em cada mes por tipo de colheita

L lucro

G custo de producao

C custo da colheita

R renda

D administrativo

B beneficiamento

E producao cafe cereja

Z producao total em sacas

MOBJ valor da funcao multiobjetivo

;

POSITIVE VARIABLE Y, R;

BINARY VARIABLE X;

EQUATIONS

OBJ

RENDA

GASTO

HARVEST

ADMINISTRATIVO

BENEFICIAMENTO

ESCOLHA2(T)

AREACOLHIDA(T)

LIMITEMAQ(M)

PRODUQUALI

PRODUTOTAL

MULTI


```

;
MULTI ..   MOBJ =E= L - G - C + Z + E ;

OBJ..      L =E= R - G - C - D - B ;

RENDA.. R =E= SUM((Q,T,A,F),
PRECOCAFE(Q)*PRODU(T,A,F)*QUALIDADE(T,Q)*AREA(T)*X(T,A,F));

GASTO..    G =E= SUM((T,A,F), X(T,A,F)*CUSTOPROD(T,A,F)*AREA(T));

HARVEST..  C =E= SUM((M,O,T), Y(M,O,T)*COLHEITA(M,O,T)*AREA(T));

ADMINISTRATIVO.. D =E= SUM((T,A,F), X(T,A,F)*AREA(T)*825);

BENEFICIAMENTO.. B =E= SUM((Q,T,A,F),
PRODU(T,A,F)*QUALIDADE(T,Q)*X(T,A,F)*168);

ESCOLHA2(T).. SUM((A,F),X(T,A,F)) =E= 1;

AREACOLHIDA(T).. SUM((M,O),Y(M,O,T)) =E= AREA(T);

LIMITEMAQ(M).. SUM((O,T), Y(M,"MAQ",T)) =L= 20;

PRODUQUALI.. E =E= SUM((Q,T,A,F),
PRODU(T,A,F)*(QUALIDADE(T,"cereja")/4)*AREA(T)*X(T,A,F));

PRODUTOTAL.. Z =E= SUM((Q,T,A,F),
PRODU(T,A,F)*(QUALIDADE(T,Q))*AREA(T)*X(T,A,F));

MODEL CAFE /ALL/;
SOLVE CAFE USING MIP MAXIMIZING MOBJ;

```

DISPLAY X.L, Y.L, L.L, G.L, C.L, E.L, Z.L;

execute_unload "resultados_CAFE.gdx"L,Y,X,R,G,C,D,B,E,Z;

execute 'gdxxrw.exe resultados_CAFE.gdx O=c:\resultados_CAFE.xls var=L rng=L!A1';

execute 'gdxxrw.exe resultados_CAFE.gdx O=c:\resultados_CAFE.xls var=Y rng=Y!A1:Z500
rdim=2 cdim=1';

execute 'gdxxrw.exe resultados_CAFE.gdx O=c:\resultados_CAFE.xls var=X rng=X!A1:Z500
rdim=3 cdim=1';

execute 'gdxxrw.exe resultados_CAFE.gdx O=c:\resultados_CAFE.xls var=R rng=R!A1';

execute 'gdxxrw.exe resultados_CAFE.gdx O=c:\resultados_CAFE.xls var=G rng=G!A1';

execute 'gdxxrw.exe resultados_CAFE.gdx O=c:\resultados_CAFE.xls var=C rng=C!A1';

execute 'gdxxrw.exe resultados_CAFE.gdx O=c:\resultados_CAFE.xls var=D rng=D!A1';

execute 'gdxxrw.exe resultados_CAFE.gdx O=c:\resultados_CAFE.xls var=B rng=B!A1';

execute 'gdxxrw.exe resultados_CAFE.gdx O=c:\resultados_CAFE.xls var=E rng=E!A1';

execute 'gdxxrw.exe resultados_CAFE.gdx O=c:\resultados_CAFE.xls var=Z rng=Z!A1';

Tabela 37 - Leitura dos sets e parâmetros do modelo do GAMS no Excel

LEITURA					
				rdim	cdim
set	T	sets!A3:A5000		1	
set	Q	sets!B3:B5000		1	
set	M	sets!C3:C5000		1	
set	A	sets!D3:D5000		1	
set	F	sets!E3:E5000		1	
set	O	sets!F3:F5000		1	
par	PRODU	prod!A1:ZZ5000		1	2
par	COLHEITA	colheita!A1:ZZ5000		2	1
par	CUSTOPROD	custo!A1:ZZ5000		1	2
par	AREA	area!A1:ZZ5000		1	
par	PRECOCAFE	preco!A1:ZZ5000		1	
par	QUALIDADE	quali!A1:ZZ5000		1	1

Fonte: Dados da pesquisa.

Tabela 38 - Sets de entrada do modelo do GAMS no Excel

T	Q	M	A	F	O
Lavoura	Qualidade	Mês	Adubacao	Controle	Colheita
1	Cereja	Mai	A7A11	linha 1	MAQ
2	Verde	Junho	A7A13	linha 2	MAN
3	Boia	Julho	A7A15		
4	Varrecao	Agosto	A8A11		
5		Setembro	A8A13		
6			A8A15		
7			A9A11		
8			A9A13		
			A9A15		

Fonte: Dados da pesquisa.

Tabela 39 - Produção do talhão em sacas/ha conforme adubação de macronutriente, micronutriente e controle de defensivo aplicado

	A7A11	A7A13	A7A15	A8A11	A8A13	A8A15	A9A11	A9A13	A9A15	A7A11	A7A13	A7A15	A8A11	A8A13	A8A15	A9A11	A9A13	A9A15
	linha 1	linha 1	linha 1	linha 1	linha 1	linha 1	linha 1	linha 1	linha 1	linha 2	linha 2	linha 2	linha 2	linha 2	linha 2	linha 2	linha 2	linha 2
1	72	72	76	72	72	76	72	72	76	68	68	72	68	68	72	68	68	72
2	24	24	26	24	24	26	24	24	26	23	23	24	23	23	24	23	23	24
3	41	41	43	41	41	43	41	41	43	38	38	41	38	38	41	38	38	41
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	90	90	95	90	90	95	90	90	95	86	86	90	86	86	90	86	86	90
6	27	27	29	27	27	29	27	27	29	26	26	27	26	26	27	26	26	27
7	47	47	49	47	47	49	47	47	49	44	44	47	44	44	47	44	44	47
8	30	30	31	30	30	31	30	30	31	28	28	30	28	28	30	28	28	30

Fonte: Dados da pesquisa.

Tabela 40 - Custo da colheita (R\$/ha) conforme talhão, mês e tipo de colheita

Mês	Tipo Colheita	1	2	3	4	5	6	7	8
Maio	MANUAL	640	216	360	0	800	240	416	264
Junho	MANUAL	640	216	360	0	800	240	416	264
Julho	MANUAL	640	216	360	0	800	240	416	264
Agosto	MANUAL	640	216	360	0	800	240	416	264
Setembro	MANUAL	640	216	360	0	800	240	416	264
Maio	MAQUINA	224	224	224	224	224	224	224	224
Junho	MAQUINA Q	218	218	218	218	218	218	218	218
Julho	MAQUINA	214	214	214	214	214	214	214	214
Agosto	MAQUINA	209	209	209	209	209	209	209	209
Setembro	MAQUINA	203	203	203	203	203	203	203	203

Fonte: Dados da pesquisa.

Tabela 41 - Gastos com insumos de adubação e controle fitossanitário, em R\$/ha

	A7A11	A7A13	A7A15	A8A11	A8A13	A8A15	A9A11	A9A13	A9A15	A7A11	A7A13	A7A15	A8A11	A8A13	A8A15	A9A11	A9A13	A9A15
	linha 1	linha 1	linha 1	linha 1	linha 1	linha 1	linha 1	linha 1	linha 1	linha 2	linha 2	linha 2	linha 2	linha 2	linha 2	linha 2	linha 2	linha 2
1	2.539,56	2.543,46	2.866,82	2.539,56	2.543,46	2.866,82	2.476,43	2.803,69	2.803,69	2.323,56	2.327,46	2.650,82	2.323,56	2.327,46	2.650,82	2.260,43	2.264,33	2.587,69
2	2.176,56	2.180,46	2.503,82	2.176,56	2.180,46	2.503,82	2.125,43	2.129,33	2.452,69	1.960,56	1.964,46	2.287,82	1.960,56	1.964,46	2.287,82	1.909,43	1.913,33	2.236,69
3	2.297,56	2.301,46	2.624,82	2.297,56	2.301,46	2.624,82	2.242,43	2.246,33	2.569,69	1.960,56	2.085,46	2.408,82	2.081,56	2.085,46	2.408,82	2.026,43	2.030,33	2.353,69
4	2.175,16	2.177,76	2.443,82	2.175,16	2.177,76	2.443,82	2.242,43	2.126,63	2.392,69	1.959,16	1.961,76	2.227,82	1.959,16	1.961,76	2.227,82	2.026,43	1.910,63	2.176,69
5	2.660,56	2.664,46	2.987,82	2.660,56	2.664,46	2.987,82	2.593,43	2.597,33	2.920,69	2.444,56	2.448,46	2.771,82	2.444,56	2.448,46	2.771,82	2.377,43	2.381,33	2.704,69
6	2.176,56	2.180,46	2.503,82	2.176,56	2.180,46	2.503,82	2.125,43	2.129,33	2.452,69	1.960,56	1.964,46	2.287,82	1.960,56	1.964,46	2.287,82	1.909,43	1.913,33	2.236,69
7	2.297,56	2.301,46	2.624,82	2.297,56	2.301,46	2.624,82	2.242,43	2.246,33	2.569,69	2.081,56	2.085,46	2.408,82	2.081,56	2.085,46	2.408,82	2.026,43	2.030,33	2.353,69
8	2.176,56	2.180,46	2.503,82	2.176,56	2.180,46	2.503,82	2.125,43	2.129,33	2.452,69	1.960,56	1.960,56	2.287,82	1.960,56	1.964,46	2.287,82	1.909,43	1.913,33	2.236,69

Fonte: Dados da pesquisa.

Tabela 42 - Área dos talhões (ha) da Fazenda Santa Maria da Boa Vista

Talhão	Área (ha)
1	5,7
2	10
3	2,5
4	4
5	5
6	5,4
7	9,2
8	16,9

Fonte: Dados da pesquisa.

Tabela 43 - Preço pago pela saca de café, conforme sua qualidade (R\$/saca)

Qualidade do café	Preço em R\$/saca
Cereja	300
Verde	180
Boia	200
Varrecao	150

Fonte: Dados da pesquisa.

Tabela 44 - Proporção da produção de café por qualidade por talhão

Talhão	Cereja	Verde	Boia	Varrecao
1	0,3	0,12	0,49	0,09
2	0,3	0,12	0,49	0,09
3	0,3	0,12	0,49	0,09
4	0,3	0,12	0,49	0,09
5	0,3	0,12	0,49	0,09
6	0,3	0,12	0,49	0,09
7	0,3	0,12	0,49	0,09
8	0,3	0,12	0,49	0,09

Fonte: Dados da pesquisa.