UM MODELO DE AVALIAÇÃO DE NOVAS TECNOLOGIAS:
O CASO DO APROVEITAMENTO DOS SUBPRODUTOS DO
CACAU.

JOÃO PIZYSIEZNIG FILHO
Engenheiro Agrônomo

Orientador: FERNANDO CURI PÉRES

Dissertação apresentada à Escola
Superior de Agricultura "Luiz de
Queiroz", da Universidade de São
Paulo, para obtenção do título de
Mestre em Agronomia, área de
concentração: Economia Agrária.

Piracicaba
Estado de São Paulo - Brasil
Novembro, 1987

P695m PIZYSIEZNIG Filho, João. Um modelo de avaliação de novas tecnologias:
o caso do aproveitamento dos subprodutos do cacau. Piracicaba, SP,
1987. 104p. ilus.

Diss. (Mestre) - ESALQ
Bibliografia.

1. Economia agrária. 2. Avaliação econômica de tecnologias. 3. Tecnologia do cacau. 4. Programação matemática. 5. Modelagem de sistemas. 6. Aproveitamento de subprodutos. I. Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba. II. Título.

CDD 332.31

UM MODELO DE AVALIAÇÃO DE NOVAS TECNOLOGIAS:
O CASO DO APROVEITAMENTO DOS SUBPRODUTOS DO
CACAU.

JOÃO PIZYSIEZNIG FILHO

Aprovado em 10.12.1987

Comissão julgadora:

Prof. Dr. Fernando Curi Péres

ESALQ/USP

Prof. Dr. Rodolfo Hoffmann

ESALQ/USP

Dr. João Carlos Monteiro de Carvalho

CEPLAC

Prof. Dr. FERNANDO CURÍ PÉRES

Orientador

As duas mulheres de minha vida, dedico

Maria Helena, minha mãe

Leda, minha esposa

AGRADECIMENTOS

Ao orientador e mais do que isto, ao amigo, Fernando Curi Pères

Aos professores Rodolfo Hoffmann, Pedro Valentim Marques, Abrahan Sin Oih Yu e Milton de Abreu Campanário pela leitura dos originais e valiosas observações.

Aos pesquisadores do Centro de Pesquisas do Cacau, em especial a Ilmar Ilton Santana Ferreira, Luiz Brandão Freire e Paulo Roberto Siqueira pela colaboração e entusiasmo

Aos técnicos do IPT Paulo Brito Moreira de Azevedo e Carlos Alberto Pina Aragão pelo apoio na computação.

A bibliotecária Edna Baptista dos Santos Gubitoso pela confecção das referências bibliográficas.

A Lilian Nunes Dourado e Virginia Pegoraro pela cuidadosa datilografia.

As instituições que, em diferentes fases, contribuíram com este trabalho:

- FINEP : Financiadora de Estudos e Projetos
- CEPLAC : Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira

- IPT : Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de
São Paulo S/A
- CAPES : Coordenadoria de Aperfeiçoamento do Pessoal do
Ensino Superior

Enfim, a todos aqueles que, de uma maneira ou de outra, mais do que colaboraram, depositaram confiança neste trabalho.

I N D I C E

LISTA DE TABELAS	ix
LISTA DE FIGURAS	x
RESUMO	xii
SUMMARY	xiv
1. INTRODUÇÃO E OBJETIVO.....	1
1.1. Avaliação da pesquisa agrícola	1
1.2. Abordagens reducionistas e de sistemas	3
1.3. Enfoque de sistemas e programação matemática	6
1.4. Objetivo	8
2. O CASO DO APROVEITAMENTO DOS SUBPRODUTOS DO CACAU.	9
2.1. Importância econômica.....	9
2.2. História da tecnologia do cacau.....	10
2.3. A situação atual.....	14
2.4. O projeto PAI.....	16
2.5. O problema.....	18
3. METODOLOGIA.	19
3.1. Introdução.....	19
3.2. Conceitos fundamentais em programação matemática.....	19
3.3. Conceitos fundamentais em modelagem de sistemas.....	25
3.4. Construção de um modelo para o sistema de produ- ção de cacau.....	28
3.5. Descrição do modelo.....	31
3.6. Limitações do modelo.....	54

4. RESULTADOS E CONCLUSÕES.....	58
4.1. Introdução.....	58
4.2. Cenário básico.....	59
4.3. Rodada 0 - sem a presença de novas tecnologias....	60
4.4. Rodada 1 - todas as tecnologias presentes.....	71
4.5. Rodada 2 - com novas tecnologias e com menor custo de colheita de frutos inteiros.....	72
4.6. Rodada 3 - com novas tecnologias, exceto gado de corte e gado de leite.....	85
4.7. Rodada 4 - com novas tecnologias permitindo-se que a casca do cacau seja usada na adubação da lavoura e na fertilização da piscicultura.....	89
4.8. Principais conclusões.....	91
4.9. Recomendações.....	92
5. BIBLIOGRAFIA.....	94

APÊNDICES

A1. Análise Econômica e Programação Matemática.....	A1
A1.1 Função de produção.....	A1
A1.2 Isoquantas.....	A2
A1.3 Função de produção implícita para m insumos e n produtos	A3
A1.4 Curvas de transformação do produto.....	A3
A1.5 Programação matemática.....	A4
A1.6 Processo ou atividade.....	A4
A1.7 Representação gráfica de um processo.....	A5
A1.8 Combinação de processos.....	A6
A1.9 Combinação de processo e isoquantas.....	A7
A1.10 Rompendo a restrição de proporções fixas.....	A8
A1.11 Combinação de processos e curvas de trans- formação	A10
A1.12 Rompendo a restrição de retornos constantes à escala	A11
A1.13 Análise econômica.....	A12

A2 Solução de problemas de programação linear: Método

Simplex Revisado	A15
A2.1 Formulação Standart.....	A15
A2.2 Definição de uma base.....	A16
A2.3 Solução básica e base viável.....	A17
A2.4 Número de soluções do sistema standart.....	A18
A2.5 Sinópsse do Método Simplex.....	A18
A2.6 Formulação acrescida.....	A19
A2.7 Obtenção do sistema explícito.....	A21
A2.8 Condição identificadora da base ótima.....	A22
A2.9 Critério de entrada de uma variável na base....	A22
A2.10 Condição identificadora de solução infinita...	A22
A2.11 Critério de saída de uma variável da base....	A23
A2.12 Considerações adicionais.....	A24

A3 Interpretações econômicas sobre a matriz Y do Método

Simplex	A26
A3.1 Taxa marginal de substituição técnica.....	A26
A3.2 Decomposição do efeito da entrada de uma variável na base	A26
A3.3 O papel dos y_{0j}	A27
A3.4 O papel dos y_{0j} das variáveis folga.....	A28

A4 Determinação da amplitude de validade de uma solução ótima	A34
A4.1 Análise de pós-otimização.....	A34
A4.2 Limite de variação para os c_j de variáveis fora da base	A35
A4.3 Limite de variação para os c_j de variáveis básicas	A36
A4.4 Limites de variação para os b_i quando a desigualdade for do tipo $\leq$	A37
A4.5 Limites de variação para os b_i quando a desigualdade for do tipo $\geq$	A39
A4.6 Interpretação das amplitudes (ranges) de variação dos c_j e b_i	A41

L I S T A D E T A B E L A S

Tabela 2.1 - Cacau: área média colhida, quantidade média produzida e rendimento agrícola médio no período 1951/84 no Estado da Bahia.....	15
Tabela 4.1 - Área ocupada com a cultura do cacau em diferentes estágios nos 20 anos do horizonte de planejamento - Rodada 0.....	61
Tabela 4.2 - Volume e receita da venda de cacau em cada período de caixa nos 20 anos do horizonte de planejamento - Rodada 0.....	63
Tabela 4.3 - Operações financeiras em cada período de caixa nos 20 anos do horizonte de planejamento - Rodada 0	66
Tabela 4.4 - Fluxos de ocupação de mão de obra nos 20 anos do horizonte de planejamento - Rodada 0.....	70
Tabela 4.5 - Nível de adoção das novas tecnologias testadas - Rodada 2.....	74

Tabela 4.6 - Operações financeiras em cada período
de caixa nos 20 anos do horizonte de
planejamento - Rodada 279

Tabela 4.7 - Fluxos de ocupação de mão de obra
nos 20 anos do horizonte de
planejamento - Rodada 2.....83

Tabela 4.8 - Nível de adoção das novas tecnologias
Rodada 3.....87

Tabela 4.9 - Nível de adoção das novas tecnologias
Rodada 4.....90

L I S T A D E F I G U R A S

Figura 2.1 - Evolução da produção de cacau no Brasil.....	11
Figura 2.2 - Desempenho da lavoura cacaueira do Estado da Bahia.....	15
Figura 2.3 - Sistema integrado de manejo da propriedade cacaueira.....	17
Figura 3.1 - Passos para a obtenção de um modelo aceitavel.....	29
Figura 3.2 - Distribuição mensal da produção de cacau...	35
Figura 3.3 - Utilização dos resíduos de cacau.....	51
Figura 4.1 - Saldo das operações financeiras - Rodada 0.....	68
Figura 4.2 - Saldo das operações financeiras - Rodada 2.....	81
Figura 4.3 - Mão de obra em 2 rodadas.....	84

UM MODELO DE AVALIAÇÃO DE NOVAS TECNOLOGIAS:
O CASO DO APROVEITAMENTO DOS SUBPRODUTOS DO CACAU

Autor: JOÃO PIZYSIEZNIG FILHO

Orientador: FERNANDO CURI PERES

RESUMO

Propõe-se uma abordagem sistêmica para a avaliação econômica de novas tecnologias agrícolas. Neste sentido, através de um modelo de programação linear dinâmica, é avaliada a viabilidade econômica de novas tecnologias -desenvolvidas pelo Centro de Pesquisas do Cacau da CEPLAC- para o aproveitamento de subprodutos do cacau. Experimentos são realizados com o modelo, inserindo-se nele as novas tecnologias.

As conclusões são: a) o alto custo de colheita de frutos inteiros pode inviabilizar todo o conjunto de novas tecnologias, b) não foi relevante (na ordem de 6%) o acréscimo dado pelas novas tecnologias no patrimônio líquido do sistema de produção, c) contudo, o crescimento na massa de salários pode chegar a 40%, d) o retorno financeiro das novas tecnologias foi suficiente para suportar taxas de juros não subsidiadas e e) a presença de novas tecnologias em nada alterou a condução da cultura do cacau.

As recomendações são: a) que se desenvolvam técnicas para reduzir o custo de colheita de frutos inteiros, b) utilize-se o presente modelo para estudar tais técnicas, c) o modelo poderá ser usado para outros estudos econômicos e, d) a par de um sistema de contabilidade de custos, o modelo poderá ser aplicado no planejamento de propriedades agrícolas.

Os apêndices contêm uma discussão sobre a potencialidade da programação matemática como instrumento de análise econômica.

A MODEL TO EVALUATE NEW TECHNOLOGIES:
THE CASE OF UTILIZATION OF COCOA'S BYPRODUCTS

Author: JOAO PIZYSIEZNIG FILHO

Adviser: FERNANDO CURI PERES

SUMMARY

It is proposed a system approach to evaluate new agricultural technologies. To do so, a dynamic linear programming model was utilized to evaluate new technologies -developed by Cocoa Research Centre of CEPLAC in Brazil- that could turn profitable cocoa's byproducts. Experiments were realized with the model, inserting in it the new technologies.

The conclusions are: a) the high costs of cropping the whole fruit may turn infeasible all set of new technologies, b) it was not relevant (around 6%) the increments on assets given by new technologies, c) the improvements on the total amount of wages can reach 40%, d) the economic returns of new technologies are enough to support interest rates without subsidies and e) the presence of new technologies does not change the management of cocoa tillage.

The recommendations are: a) techniques must be developed to reduce the costs of cropping the whole fruit, b) the present model can be utilized to test these techniques,

c) the model can be used to other economic studies and d) in addition to a cost accounting system, the model may be applied in farm planning.

The appendix contains a discussion about the potentiality of mathematical programming as an instrument of economic analysis.

1. INTRODUÇÃO E OBJETIVO.

1.1 Avaliação da pesquisa agrícola.

Por que avaliar e analisar a pesquisa agrícola?

A respeito desta questão SCHUH e TOLLINI (1983) apresentam, entre outras, as considerações listadas a seguir.

1) A noção de que a pesquisa e geração de tecnologias agrícolas é um importante meio de crescimento da produtividade na agricultura é amplamente aceita pelos governos e agências internacionais de desenvolvimento.

2) As despesas mundiais com pesquisa agrícola estão hoje na ordem de US\$ 5 a 6 bilhões por ano. Os recursos usados para esse fim têm, certamente, usos alternativos. Neste sentido, a pesquisa é uma atividade econômica que requer a administração de recursos escassos para que possa prover sua máxima contribuição na promoção do bem estar.

3) A análise econômica é um meio para gerar informações quantitativas que contribuem para o processo de decisão que, sem esta, teria um caráter subjetivo e mais impreciso.

4) O produto da pesquisa é, basicamente, informação; este, apesar de, em geral, promover

grandes benefícios sociais, não pode ser sempre vendido por um preço de mercado. Isto reforça ainda mais a necessidade de avaliação econômica, já que o preço, principal sinalizador para a tomada de decisões de investimento, está, neste caso, ausente.

5) Uma vez que (em geral) os benefícios da pesquisa agrícola não podem ser auferidos por empresas privadas, haverá, por parte destas, pouco empenho no investimento em pesquisa. Da mesma forma, agências governamentais quando alocam recursos com base em puro julgamento informal, podem fazê-lo de forma insuficiente. De fato, as altas taxas de retorno social observadas nos investimentos passados em pesquisa agrícola, sugerem que há sub-investimento por parte destas instituições.

6) Sub-investimentos em pesquisas podem vir a sacrificar os seus retornos potenciais e a sua contribuição ao bem estar. De forma similar, super-investimentos em pesquisa, quando ocorrem, têm consequências comparáveis sobre os retornos e bem estar, pelo sacrifício de outros projetos em que os recursos poderiam ser melhor utilizados.

7) A difusão de uma inovação técnica pode incrementar os retornos de uma outra inovação. Se o processo de pesquisa está sendo monitorado e avaliado, as oportunidades de crescimento dos retornos podem ser mais rapidamente identificadas.

8) A mudança tecnológica frequentemente tem algum efeito deletério associado com alterações perversas no perfil de distribuição de renda, desemprego ou degradação do meio ambiente. Se estes efeitos puderem ser previstos, através de um modelo de avaliação, medidas corretivas poderão ser tomadas (SHUCH & TOLLINI, 1983 p. 7-3/5).

Na literatura, grande parte dos trabalhos de avaliação da pesquisa agrícola tem por objetivo medir o retorno social auferido (abordagem "ex-post") ou potencial ("ex-ante") dos investimentos em pesquisa. A preocupação, contudo, deste trabalho é para com a viabilidade técnica e econômica de novas tecnologias a nível de produtor. Em

verdade, uma tecnologia só proporcionará retornos sociais se antes apresentar viabilidade econômica em termos privados, que garanta a sua adoção.

1.2 Abordagens reducionistas e de sistemas

No desenvolvimento de tecnologias agrícolas, são utilizados modelos que, em geral, tem caráter reducionista-mecanicista, onde o reducionismo subentende a redução dos fenômenos às suas partes básicas, enquanto o mecanicismo subentende que os fenômenos podem ser explicados através de relações de causa e efeito, de forma mecânica ou automática (DILLON, 1976). Assim, o principal modelo utilizado nos testes de tecnologias agrícolas é o experimento em pequenas parcelas, onde a representação de um sistema agrícola é feita com base no isolamento dos aspectos que se deseja estudar de uma determinada realidade.

A avaliação econômica dessas tecnologias, quando realizada, em geral, se utiliza de dados gerados nestes próprios experimentos. Prevalece, então, a mesma abordagem reducionista-mecanicista dos modelos de experimentação agrícola. Os modelos utilizados, como o da função de produção, são especificados para um pequeno número de fatores e para a produção de um único produto. É comum também, a utilização de técnicas do tipo taxa interna de retorno (TIR), valor presente líquido (VPL) ou relação custo benefício (C/B) (NORTON e DAVIS, 1981). Tais critérios assumem que uma

tecnologia é economicamente viável (e, portanto, passível de ser adotada) se os retornos por ela proporcionados superam os retornos que seriam obtidos a uma taxa mínima de atratividade, em geral, tomada no mercado financeiro. Em um sistema agrícola, contudo, em função de restrições de fatores físicos e de volume de crédito disponível, da presença de subsídios nas taxas de crédito rural ou, ainda, pelo maior grau de risco das atividades agrícolas; na margem, a taxa de retorno pode ser diferente da taxa de mercado. Ora, desta forma, a taxa relevante para a avaliação de uma nova tecnologia é aquela que se dá internamente ao sistema de produção agrícola. Esta seria equivalente ao preço sombra do capital da empresa (vide Apêndice 3 seção A3.4). Portanto, se uma nova tecnologia vem a concorrer com recursos escassos de um sistema agrícola, sem, contudo, compensá-lo com uma taxa de retorno, no mínimo, igual à menor taxa das atividades produtivas do sistema, isto definirá a sua inviabilidade neste sistema específico, impedindo a sua adoção.

Uma nova tecnologia agrícola, em geral, pressupõe mudança no perfil de demanda de insumos. "O termo 'mudança tecnológica', é meramente uma forma reduzida de descrever uma série de (novos) fatores de produção" (Schultz, citado por VERA e TOLLINI, 1979 p. 94 e 95). A não disponibilidade, a custos razoáveis, de tais fatores, pode agir como elemento restritivo ao processo de adoção (PAIVA, 1979).

HAYAMI E RUTAN (1975), através de seu modelo de desenvolvimento induzido, demonstram o forte papel que o meio (disponibilidade de fatores) tem sobre o processo de desenvolvimento tecnológico da agricultura. Dessa forma, países como Japão e Formosa, onde a terra é escassa, apresentam uma preponderância de tecnologias poupadoras desse fator, incorporadas em fertilizantes e corretivos. Em contrapartida, países com abundância de terras e escassez de mão de obra, dentre os quais se incluem os Estados Unidos, Austrália e Nova Zelândia apresentam tecnologias fortemente baseadas na mecanização agrícola.

Em suma, verifica-se a importância da aplicação de modelos de desenvolvimento e avaliação de tecnologias que considerem o "modus operandi" dos sistemas agrícolas. Trata-se da aplicação na pesquisa agrícola do assim denominado "enfoque de sistemas", "não como alternativa ao processo 'reducionista', mas para seguir a partir do momento em que este se esgota" (GASTAL, 1980, p. 75).

1.3 Enfoque de sistemas e programação matemática

"O enfoque de sistemas é uma forma de pensar, e as técnicas que se possam aplicar são essencialmente incidentais" (Brockington, citado por GASTAL, 1980, p.75). Na avaliação econômica em agricultura, embora haja um grande número de modelos matemáticos de simulação e otimização em uso, o mais largamente utilizado e compreendido é a

programação linear (PERRIN, sd). Os modelos de programação linear permitem cumprir algumas das exigências da abordagem de sistemas, como a consideração de um grande número de fatores e, ao mesmo tempo, um grande número de atividades produtivas disputando estes fatores. O aspecto intertemporal também pode ser considerado quando os modelos têm natureza dinâmica.

Embora sejam numerosas as aplicações da programação linear em problemas da agricultura, são relativamente poucos os trabalhos que a utilizaram para avaliação e/ou desenvolvimento de novas tecnologias.

PÉRES et alii (1982) estudaram a adoção de tecnologias recomendadas pela extensão rural a agricultores da região da Serra de Jaboticabal no Estado de São Paulo. Seu trabalho concluiu que a disputa pelo uso de máquinas e implementos entre as culturas, no período de preparo de solo, impelia os agricultores ao plantio de milho em período mais tardio e, conseqüentemente, com níveis de produtividade mais baixos.

Um modelo estático de programação linear que considerava explicitamente o risco associado às atividades agropecuárias foi utilizado por AZEVEDO FILHO e PÉRES (1984) para analisar a competitividade da soja em uma empresa da região de Campinas, SP. A cultura foi considerada competitiva em quase todos os níveis de risco estudados, devido aos altos índices tecnológicos considerados.

PÉRES; CRUZ e PIZYSIEZNIG FILHO (1984), através de um modelo de programação linear dinâmica, avaliaram a viabilidade econômica de uma microdestilaria de álcool inserida em um sistema de produção agrícola na região de Campinas, SP. Os resultados mostraram que a microdestilaria se viabiliza caso a venda de álcool no mercado fosse permitida, possibilitando ao produtor a apropriação dos subsídios incorporados nos preços administrados pelo governo. Avaliaram-se também alguns preços sombra, que demonstraram que o fator limitante à expansão da cultura de cana na propriedade não é a terra, mas o estoque de capital físico.

GODWIN; SANDERS e HOLANDA (1980) avaliaram a adoção da cultura de sorgo por agricultores no Nordeste do Brasil, através de um modelo de programação linear modificado conforme o modelo MOTAD de Hasell. Concluíram que a avaliação "ex-ante" de novas tecnologias pela simulação das condições da empresa rural mostrou-se útil para a verificação de sua viabilidade e para o levantamento das restrições à adoção.

PALMA (1983) sugere que o modelo de programação linear desenvolvido na Purdue University por McCarl e outros e grandemente modificado e adaptado às características da agricultura brasileira por Sugai e outros, poderia ser usado para verificar a viabilidade de novas tecnologias produzidas pela pesquisa.

O Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S/A-IPT (SÃO PAULO, 1985) desenvolveu trabalhos

de modelagem, via programação linear, de usinas de álcool para o teste de novas tecnologias. Tais modelos permitiram captar interrelações entre as tecnologias testadas.

1.4 Objetivo.

O objetivo da presente dissertação é realizar a avaliação econômica a nível de produtor das tecnologias de aproveitamento de subprodutos do cacau geradas por um projeto de pesquisa tecnológica do Centro de Pesquisas do Cacau, denominado de PAI - Projeto de Aproveitamento Integral de Recursos.

Um modelo de programação linear seria bastante adequado ao tratamento do objetivo aqui proposto. Este instrumento permitiria, além da modelagem do meio ou sistema de produção, a incorporação das interrelações que as tecnologias geradas pelo projeto PAI teriam com o sistema em geral.

2. O CASO DO APROVEITAMENTO DOS SUBPRODUTOS DO CACAU.

2.1 Importância econômica

A cacauicultura gerou 3% do total de nossas exportações em 1985 (US\$800 milhões aproximadamente). Mas sua importância econômica cresce muito mais quando se enfoca o aspecto regional. Na região Norte/Nordeste, o cacau é o principal produto agrícola de exportação. A "grande região cacaueira da Bahia" é composta de 102 municípios, 101 mil km², 2,4 milhões de habitantes e é responsável por 85% da produção nacional. O cacau é o sustentáculo econômico desta região, mantendo o emprego de mais de 50% da população economicamente ativa. Em outras regiões, a cacauicultura também tem se expandido, como na Amazônia, que já atingiu perto de 10% da produção nacional. Concentra-se em Rondônia 64% da área da plantada ^{na} região (FGV, 1985).

O cacau é uma cultura que usa mão de obra intensivamente. É perene, restrita a climas tropicais e sua produção comercial se dá somente a partir do 5º ano após o plantio. No Brasil, o período de colheita se estende pelo ano todo, com um intervalo de dezembro a março (paradeiro), um pico entre abril e agosto (temporão) e outro entre setembro e novembro (safra). O volume de produção é altamente dependente do clima.

2.2 História da tecnologia do cacau

A cacauicultura baiana foi marcada por períodos alternados de euforia e depressão. Inicialmente, com preços compensadores e cacauais novos, a cultura se expandiu vertiginosamente desde o início de sua exploração no Brasil, em 1860, até a crise de 1929 (vide Figura 2.1), quando a queda na renda disponível nos países consumidores reduziu os preços do produto. A crise de 1929 suscitou a criação do ICB-Instituto de Cacau da Bahia em 1931. O ICB proveu crédito de curto e longo prazo aos produtores, construiu cerca de 500 quilômetros de rodovias na região produtora de cacau e difundiu alguns trabalhos de pesquisa e experimentação. Posteriormente, o ICB entrou na comercialização para garantir preços aos cacauicultores. Este apoio institucional, aliado aos plantios realizados durante a década de 20, resultou em sucessivos recordes na produção baiana (CEPLAC, 1977).

- 1º Período: 1860/1910. Crescimento da produção da Bahia, de 500 ton para 27.000 ton, suplementada pela produção Amazônica de 3/4.000 ton.
- 2º Período: 1910/11-1929/30. Implantação definitiva de cacau como principal produto agrícola da Bahia. Grandes flutuações na produção, devido a condições climáticas irregulares. 1904/13 - Construção de linha férrea Ilhéus-Itabuna. 1916/26 - Início de construção de rodovia. 1923/26 - Construção das docas de Ilhéus. 1926 - Primeiro embarque de cacau de Ilhéus, para mercados externos.
- 3º Período: 1929/30 - 1940/41. 1931 - Organização do ICB. Expansão da área cultivada em direção ao norte do rio de Contas e Interior de Canavieiras e Una. 1932 - Reajuste financeiro e moratório de ajuda aos cacauicultores, devido à queda de preços. Recordes sucessivos na produção, consequentes do intensivo plantio antes de 1930. Desestímulo a novos plantios, devido à queda de preços.
- 4º Período: 1940/41 - 1945/46. Desorganização do processo produtivo, devido a preços de importação, estabelecidos pelos EUA, e elevação dos custos de produção. Queda na produção de cacau, pelo abandono ou falta de tratos nas plantações. Desenvolvimento da industrialização de cacau. Políticas de Comercialização externa e Interna do ICB.
- 5º Período: 1945/46 a 1957/58. Reorganização da economia cacaueira, devido a condições climáticas irregulares e incidência de podridão parda. Sucessivos recordes na produção dos anos 1946/47, 1949/50 e 1954/55, devido a anos climáticos favoráveis. Estabelecimento de novos plantios, como consequência dos preços de cacau. 1956/57 - Crise na economia cacaueira, em razão da queda mundial de preços. 1957 - Planificação de medidas estruturais, para recuperação da economia.
- 6º Período: A fase da CEPLAC.

Figura 2.1 - Evolução da produção de cacau no Brasil - (Ano agrícola maio/abril). Período 1860/1977.
(Fonte: CEPLAC, 1977).

Os anos da 2ª guerra mundial foram marcados pela queda nas cotações do cacau, em função da desorganização dos mercados e transportes, levando também a uma redução na produção mundial de 798 mil toneladas em 1939/40 para 605 mil em 1942/43.

Na década de 50 a produção passou por períodos de muita irregularidade, com secas em 1951 e 1952 e chuvas excessivas em 1957 e 1958, determinando uma alta incidência de podridão parda (FGV, 1985). Em fevereiro de 1957 o ambiente era de crise, causada por uma renitente baixa nas cotações internacionais do cacau. Nesta conjuntura, em 20.02.1957, é instituída a CEPLAC (Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira). Caberia à CEPLAC a assistência financeira aos cacaucultores cujos níveis de débito excediam sua capacidade de pagamento. Não havia, neste primeiro momento, portanto, preocupação com a produtividade agrícola. Com o tempo, contudo, ficou patente que as raízes mais profundas da crise residiam na estagnação tecnológica das fazendas de cacau. Se os preços dos produtos estavam baixando em função do aumento de produção em países concorrentes, restava à cacaucultura nacional viabilizar-se pela redução dos custos e aumento da produtividade.

Em 1961, a direção da CEPLAC concluía que havia pouco a recomendar ao lavrador (CEPLAC, 1977). Na região cacaueira baiana não havia pesquisa nem assistência técnica condizente com a importância da cultura. Em 1962, portanto,

são tomadas duas decisões que vieram mudar o papel da CEPLAC na região: a) Construção de um lastro financeiro pela retenção de 15% da receita cambial da exportação de amêndoas e de 5% sobre derivados, e b) Criação do CEPEC - Centro de Pesquisas do Cacau - para o desenvolvimento de tecnologias para a lavoura cacaueira.

Em 1963 é criado o CEPEC. Em 1964 cria-se o DEPEX - Departamento de Crédito e Extensão da CEPLAC e em 1965, a EMARC - Escola Média de Agricultura da Região Cacaueira, com o objetivo de formar mão de obra qualificada para disseminar as mudanças tecnológicas geradas pelo CEPEC.

A história tecnológica do cacau no Brasil pode ser, então, dividida em dois grandes períodos: antes e depois da CEPLAC. Imperava no primeiro período um empirismo baseado na observação, tradição e senso prático dos agricultores (CEPLAC, 1977). Por outro lado, o pacote tecnológico produzido pela CEPLAC tem por base tecnologias já consagradas no processo de modernização de outras culturas, utilizando insumos modernos (fertilizantes, corretivos - tornando rotineira a análise de solos - inseticidas e fungicidas) e melhoramento genético das plantas. A CEPLAC obteve cacaueiros híbridos de maior precocidade e resistência a doenças, com produtividades que chegam a até 5 vezes a produtividade média das plantas tradicionais. Além disso, atuou na área de beneficiamento do cacau, desenvolvendo tecnologia para a fermentação, secagem, armazenagem e transporte das amêndoas.

O serviço de extensão rural, a revenda de insumos agrícolas pela CEPLAC e a criação de cooperativas foram os instrumentos disseminadores deste pacote tecnológico.

A Figura 2.2 e a Tabela 2.1, extraída de MONTEIRO (1985), apresentam a evolução da área, produção e rendimento médio por hectare da cultura do cacau no Estado da Bahia. Observa-se que o rendimento mais do que duplicou de 1963/64 (criação do CEPEC) até 1984. Nota-se, contudo uma tendência à queda do rendimento nos últimos anos.

2.3 A situação atual

As respostas da cacauicultura à adubação, ao controle fitossanitário e ao melhoramento genético foram rápidas e satisfatórias. Atualmente, contudo, a CEPLAC tem sofrido críticas: "O pacote tecnológico da CEPLAC envelheceu. Hoje ela não tem condições de dar opções para reduzir nossos custos operacionais" é a declaração do presidente do Conselho Consultivo dos Produtores de Cacau, Orlantildes Péricles de Carvalho Filho, ao jornal Gazeta Mercantil em 13/02/1987. Técnicos da CEPLAC constataram, ainda, que no pacote tecnológico, resíduos e subprodutos não são aproveitados, é baixo o valor adicionado pela produção agrícola em relação ao produto final (chocolate) e há um evidente risco associado à exploração de um único produto. Enfim, há claramente uma sub-utilização de recursos naturais. O cacau, além das amêndoas, produz polpa e

Tabela 2.1 - Cacau: área média colhida, quantidade média produzida e rendimento agrícola médio no período 1951/84 no Estado da Bahia (valores absolutos e índices relativos). Base 1951/52=100 (Fonte: MONTEIRO, 1985).

Biênio	Área média colhida		Quantidade média produzida		Rendimento médio	
	ha	%	Toneladas	%	kg/ha	%
1951/52	269.017	100	111.775	100	415	100
1953/54	327.497	122	144.769	130	442	107
1954/56	352.390	131	153.699	138	436	105
1957/58	400.918	149	156.469	140	390	94
1959/60	443.776	165	162.718	146	367	88
1961/62	442.035	164	140.149	125	317	76
1963/64	445.653	166	140.726	126	316	76
1965/66	439.300	163	158.859	142	362	87
1967/68	422.499	157	163.744	146	388	93
1969/70	409.289	152	195.845	175	478	115
1971/72	411.130	153	210.765	189	513	124
1973/74	387.817	144	198.293	177	511	123
1975/76	397.939	148	246.922	221	621	150
1977/78	397.650	148	255.176	228	642	155
1979/80	428.818	159	311.810	279	727	175
1981/82	451.681	168	285.593	256	632	152
1983/84	492.852	183	303.090	271	615	148

Fonte: Anuário Estatístico do Brasil (1951-1982).

Figura 2.2 - Desempenho da lavoura cacauzeira do Estado da Bahia. Período 1950 a 1984 (Fonte: MONTEIRO, 1985).

casca que poderiam ter inúmeras utilizações. Além disso, o consórcio de outras culturas com o cacau poderia ser estudado. Nas terras não apropriadas ao cacau, poderiam ser incrementadas atividades pecuárias. Recursos hídricos abundantes na região cacaueira poderiam ser aproveitados para piscicultura (MONTEIRO et alii, 1984).

2.4 O projeto PAI

Neste cenário, em fevereiro de 1984, foi criado um grande projeto de pesquisa tecnológica denominado PAI - Projeto de Aproveitamento Integral de Recursos. O projeto compunha-se de inúmeros sub-projetos que tinham como objetivo o aproveitamento da casca de cacau para a alimentação de bovinos de leite e corte, biodigestão, alimentação de peixes e adubação orgânica. Pesquisar-se-iam, também, processos para a extração de polpa do fruto para a elaboração de suco, geléia, vinho, vinagre, álcool, etc, além de experimentos na área de consorciação e diversificação de cultivos (ver Figura 2.3). Tratava-se de tecnologias que seriam introduzidas dentro do atual "sistema de produção do cacau" e que a ele deveriam adequar-se e, provavelmente, modificá-lo.

2.5 O problema

O sucesso do projeto PAI, em termos de sua capacidade de melhorar a exploração dos recursos naturais,

Figura 2.3 - Sistema integrado de manejo da propriedade cacaueira (Fonte: MONTEIRO et alii, 1984).

aumentar a renda dos agricultores e reduzir os riscos financeiros pela diversificação de atividades, estará sujeito à economicidade e aos impactos que as tecnologias por ele geradas venham a ter sobre o sistema de produção do cacau. Torna-se fundamental, então, avaliar o comportamento destas tecnologias com uma metodologia que considere explicitamente este sistema de produção.

3. METODOLOGIA

3.1 Introdução

A avaliação de novas tecnologias para o sistema de produção do cacau será realizada através de um modelo de programação matemática. Alternativamente, poder-se-iam utilizar modelos marginalistas baseados na teoria microeconômica. Contudo, os modelos de programação matemática, além de serem totalmente consistentes com aqueles (vide Apêndice 1) trazem, ainda, vantagens operacionais para a sua utilização.

3.2 Conceitos fundamentais em programação matemática

3.2.1 - Atividade

Nos modelos de programação matemática, um conceito fundamental é o de atividade ou processo. Um processo pode ser definido como um método específico para se

realizar uma tarefa econômica. O processo é, então, totalmente definido por um vetor de coeficientes técnicos a_{ij} ($i=1, \dots, m$) e ($j=1, \dots, n$), que definem a quantidade de cada insumo i necessária para produzir uma unidade da atividade j . O coeficiente a_{ij} também poderá definir algum "output" da atividade como, por exemplo, a quantidade produzida de casca de cacau em uma atividade j (uma atividade de produção de cacau).

3.2.2 - Restrição

Uma atividade de um modelo de programação matemática só será acionada se um conjunto de restrições for satisfeito, tais restrições podem ser:

a) Recursos - num sistema de produção existem sempre recursos que, a depender do intervalo de tempo considerado, podem limitar a produção. Num sistema de produção agrícola, por exemplo, a disponibilidade de terra e água são formas típicas de restrição de recursos,

b) Demandas - num sistema de produção pode haver a exigência do cumprimento de alguma "demanda"¹, como a produção de uma quantidade mínima de culturas alimentares para o sustento de uma família, ou a

¹ Demanda, aqui entendida como um limite mínimo de um objetivo que deve ser alcançado; em contraposição, uma restrição define um limite máximo de utilização de um recurso

família, ou a geração de receita suficiente para o pagamento de uma dívida,

c) Interações - a execução de algumas atividades pode estar condicionada à execução de outras atividades. A atividade de plantio, por exemplo, só poderá ser acionada se a atividade de preparo de solo o for, também.

Estas restrições, num modelo de programação matemática, traduzem-se num conjunto de equações e inequações que delimitam o espaço de solução do mesmo. Dessa forma, chamando-se de q_j o nível de alguma atividade j ($j=1, \dots, n$), e b_i o nível de uma restrição i ($i=1, \dots, m$), tem-se que a expressão típica de uma restrição será dada por:

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} q_j \leq b_i \quad (1)$$

3.2.3 - Função objetivo.

Um sistema de produção é conduzido sempre com um objetivo, em geral econômico, como o de atingir uma renda máxima, ou um custo mínimo ou, ainda, um lucro máximo. Chamando de c_j a contribuição de cada unidade da atividade j para este objetivo, pode-se construir a função objetivo dada por:

$$\pi = \sum_{j=1}^n c_j q_j ; \quad (2)$$

onde π é o objetivo econômico a ser otimizado.

3.2.4 - Formulação de um problema de programação linear.

Um modelo de programação matemática, que possua função objetivo e restrições dadas apenas por formas lineares como em (2) e (1) é chamado de modelo de programação linear, cuja formulação pode ser dada por:

$$\begin{aligned} & \text{Maximizar (ou minimizar)} \quad \pi = \sum_{j=1}^n c_j q_j \\ & \text{sujeito a} \end{aligned} \quad (3)$$

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} q_j \geq b_i$$

$$q_j \geq 0$$

A última expressão de (3), apenas explicita o fato de que nenhuma atividade poderá assumir valores negativos.

3.2.5 - Conteúdo da solução de um modelo de programação linear.

A solução do modelo expresso em (3), (detalhadamente exposta no Apêndice 2), irá definir qual a combinação dos níveis de cada atividade que, respeitando as restrições do sistema de produção, apresente o melhor valor da função objetivo.

3.2.6 - Uso dos resultados da programação linear para a avaliação de tecnologias e para a orientação da pesquisa tecnológica.

Na aplicação de um modelo de programação linear ao problema proposto neste trabalho, procurar-se-á determinar a combinação de atividades que maximize os lucros do cacauicultor num horizonte de tempo amplo. A avaliação econômica das novas tecnologias dar-se-á pela verificação de: a) se estas tecnologias estão incluídas na combinação ótima acima referida e, b) se a inclusão destas tecnologias no sistema de produção do cacau contribuirá significativamente nos ganhos do empresário.

Além disso, os modelos de programação, através dos preços sombra (vide Apêndice 3, seção A3.4), indicam quais restrições do sistema são mais críticas, isto é, em quais restrições do sistema haveria maior ganho na função

objetivo se estas fossem relaxadas. Isto, para a pesquisa tecnológica, pode apontar que tipo de tecnologias deveriam ser desenvolvidas, no sentido de poupar mais destes recursos críticos. Se, por exemplo, num determinado sistema de produção agrícola, o recurso terra for mais crítico do que o recurso trabalho, o desenvolvimento de tecnologias poupadoras de terra deveria ser privilegiado, contra tecnologias poupadoras de mão-de-obra, não se invalidando, naturalmente, tecnologias poupadoras de ambos os recursos simultaneamente.

3.2.7 - Vantagens adicionais no uso da programação matemática no problema de avaliação de tecnologias.

Segundo KETKAR (1973, p. 19) "os modelos Input-Output e de regressão são ligados ao passado ou a estruturas de produção existentes. A abordagem de programação, por outro lado, permite a mudança no mix de produtos... e mudanças nas relações estruturais". DILLON (1977, p. 21) afirma que: "economicamente, uma nova tecnologia só pode ser avaliada de maneira adequada dentro de um contexto de fazenda como um todo. Isto por causa das demandas competitivas, entre as tecnologias, pelos limitados recursos da fazenda... o problema do agricultor é selecionar um conjunto ou programação tecnológica... Definindo uma tecnologia como um método de produzir um determinado produto, a j -ésima tecnologia de T_j é especificada pelo vetor

$(a_{1j}, a_{2j}, \dots, a_{mj}) \dots$ com n tecnologias disponíveis e usando x_j para indicar o nível T_j no plano do agricultor, o problema deste é escolher a melhor combinação de tecnologias $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)''$.

Além destas considerações a favor da utilização da programação matemática, pode-se listar mais algumas vantagens para o caso do presente trabalho: a relativa facilidade de descrição do sistema de produção do cacau através de um conjunto de atividades e restrições; a possibilidade de ampliar o modelo, incluindo novas tecnologias, pelo simples acréscimo de atividades; a maior disponibilidade de informações sobre o sistema de produção na forma de coeficientes técnicos, etc.

3.3 Conceitos fundamentais em modelagem de sistemas.

3.3.1 - Introdução.

Os termos sistema e modelo, até aqui bastante usados, necessitam, para melhor entendimento, ser formalmente definidos e discutidos, antes da apresentação do modelo matemático desenvolvido no presente trabalho.

3.3.2 - Sistema.

O conceito de sistema, por ser primitivo, é de difícil definição. Contudo, para os propósitos deste trabalho, é bastante adequada a definição encontrada em ELMAGHRABY (1966, p. 1): "Sistema é qualquer coleção de

elementos que interagem com algum objetivo". Esta definição depende, porém, do contexto em que está sendo aplicada. Por exemplo, para um projetista de automóveis, o automóvel é um sistema mecânico composto dos elementos motor, transmissão, rodas, etc. Mas para um engenheiro civil, num sistema denominado rodovia, o automóvel é mais um elemento, além dos caminhões, ônibus e outros veículos.

3.3.3 - Modelo.

Dada a complexidade de alguns sistemas, na maior parte das vezes não é possível manipulá-lo diretamente. Surge, então, a necessidade de construir-se um modelo deste sistema. Uma definição sintética para modelo seria que este é uma representação simbólica e simplificada de uma dada realidade e construído com uma finalidade específica.

3.3.4 - Modelagem e método científico.

É preciso enfatizar que a construção de modelos não é atividade nova. Toda a ciência, em geral, é baseada na noção de modelagem. (ELMAGHRABY, 1966). RIVETT (1972) compara a utilização de modelos ao método científico, fazendo um paralelo entre as etapas de observação, generalização, experimentação e verificação, e as etapas típicas do processo de modelagem: formulação do problema, construção de modelos, derivação de uma solução, teste, controle e implementação de uma solução.

No âmbito científico, existem modelos já consagrados, como o modelo atômico e o modelo ondulatório de propagação da luz. Estes foram construídos apenas para apresentar certos aspectos da realidade que pretendem representar, dada uma determinada finalidade. Quando estas finalidades mudam, embora a realidade permaneça a mesma, os modelos, em geral, precisam ser redefinidos. Por exemplo, no caso do modelo atômico, em que, para explicar certos fenômenos, novas partículas têm de ser definidas. Em outros casos, pode mesmo haver a necessidade de elaboração de novos modelos, como o do fóton, alternativo ao modelo ondulatório para explicar fenômenos luminosos ao nível de partículas atômicas.

Pode-se, portanto, representar um sistema de diferentes maneiras; o que conta na escolha do modelo é a natureza do sistema e o problema a ser estudado.

3.3.5 - Vantagens da construção de modelos.

WILLIAMS (1978) aponta algumas vantagens na modelagem de um sistema:

a) Frequentemente revelan-se algumas relações que não eram aparentes antes da construção de um modelo. Consequentemente, chega-se a uma maior compreensão do sistema que está sendo investigado;

b) tendo-se o modelo pronto, é possível analisá-lo, propondo-se, então, ações que, de outra forma, não seriam evidentes;

c) é possível realizar experimentos com um modelo, embora isto talvez não seja possível, desejável ou econômico de realizar junto ao objeto modelado. Por exemplo, seria politicamente difícil,

tanto como indesejável, experimentar uma medida econômica não convencional em um país, se esta tem probabilidade de falhar desastrosamente. O propósito deste corajoso experimento seria mais aceitável em um modelo matemático que representasse o sistema econômico deste país (WILLIAMS, 1978, p.3).

3.3.6 - Validação de modelos.

O método científico é cíclico. Este começa com a observação de fatos e termina nesta mesma atividade quando da verificação de uma teoria, resultando na sua validação ou na necessidade de construção de novas teorias se estas não se coadunarem com os fatos observados. No processo de modelagem, esta validação também ocorre como mostrado na figura 3.1, extraída de BUFFA (1963). Desta forma, um modelo estará sempre sujeito a reavaliações, redefinições ou mesmo rejeição. O modelo matemático construído no presente trabalho não tem a pretensão de ser definitivo. Contudo, acredita-se ser este um começo para a caminhada na trajetória da figura 3.1. A partir deste modelo, poder-se-ão realizar aperfeiçoamentos que levarão a modelos mais acurados. E, até mesmo uma eventual rejeição, poderá suscitar a elaboração de novos modelos.

MUNDO DOS MODELOS

MUNDO REAL

Figura 3.1. Passos para a obtenção de um modelo aceitável.

3.4 Construção de um modelo para o sistema de produção de cacau.

3.4.1 - Introdução

A realidade a ser modelada no presente trabalho é o "sistema de produção de cacau", com a finalidade de nele realizar experimentos (rodadas ou simulações) de incorporação de novas tecnologias desenvolvidas pelo Centro de Pesquisas do Cacau da CEPLAC.

3.4.2 - Descrição sintética do sistema de produção do cacau.

O sistema de produção do cacau, como aqui concebido, pode ser descrito como um conjunto de atividades que se realizam simultânea ou sequencialmente e que, juntas, utilizam diversos fatores de produção para produzirem não só cacau, como subprodutos e, inclusive, outros produtos complementares ou alternativos (em termos de produção) ao cacau. Além de atividades eminentemente produtivas, há atividades comerciais que geram recursos financeiros pela venda de produtos ou dispendem recursos financeiros na aquisição de fatores de produção. Os recursos financeiros poderão ser aplicados ou obtidos em atividades de crédito, gerando-se um fluxo de juros.

3.4.3 - Questões a serem respondidas pelo modelo

O modelo descreve cada atividade do sistema de produção na forma de um vetor de coeficientes técnicos. A sua construção objetivou responder às seguintes questões:

- a) O que deve ser realizado no sistema de produção?
- b) Quanto deve ser realizado de cada atividade escolhida?
- c) Como realizar, ou seja: qual a tecnologia a ser empregada?
- d) Quando realizar? Como o cacau é uma cultura perene, há no sistema de produção a alternativa de se realizar uma determinada atividade em diferentes períodos no tempo. Desta forma, foi necessário utilizar a programação linear dinâmica" (WAGNER, 1975) já utilizada por outros autores (SUGAI, 1974; OLIVEIRA, 1984; PÉRES et alii, 1984). Neste modelo, cada atividade deve ser definida explicitando-se o período em que esta poderá ser realizada.

3.5 Descrição do modelo

3.5.1 - Introdução

Como já explanado, cada atividade j num modelo de programação matemática é representada por um vetor de coeficientes técnicos a_{ij} , e cada restrição é uma equação ou inequação (expressão 1, cujos coeficientes têm o mesmo i).

3.5.2 - Horizonte de planejamento.

O horizonte de planejamento foi definido em 20 anos. Toda a atividade cujo tempo de execução extravase a um ano civil foi desagregada em atividades interligadas com duração de um ano, de modo que o modelo pode ser aplicado a sistemas de produção onde a cultura do cacau pode estar em diferentes estágios de desenvolvimento.

3.5.3 - Restrições do modelo.

a) Recursos de solo - Foram considerados dois tipos de solo. O primeiro, denominado tipo A, é apropriado à cultura do cacau sem grandes investimentos. O segundo, tipo B, com menor fertilidade, necessita calagem e maior adubação de plantio para atingir o status de solo tipo A. Os solos de ambos os tipos podem ainda estar "abertos", isto é, desmatados, ou com mata. A mata existente poderá também ter

ou não a exuberância para viabilizar o plantio em "cabruca". Dessa forma, os recursos de solo estão classificados nos seis estratos a seguir:

- Solo tipo A aberto
- Solo tipo A não aberto
- Solo tipo B aberto
- Solo tipo B não aberto
- Solo tipo A para cabruca
- Solo tipo B para cabruca.

b) Recursos de mão-de-obra - A mão-de-obra é o recurso com maior participação no custo do sistema de produção. A disponibilidade de mão-de-obra foi desagregada para ser considerada distintamente em três períodos de produção, a saber: paradeiro (dezembro a março), temporão (abril a agosto) e safra (setembro a novembro). Tem-se, então, as seguintes restrições de mão-de-obra:

- mão-de-obra paradeiro
- mão-de-obra temporão
- mão-de-obra safra.

2 - Cabruca é o nome dado ao plantio feito sob a mata nativa após um raleamento da vegetação. No modelo, quando possível, a cabruca é sempre mais interessante que a derruba total de mata, pois evitam-se os gastos com plantio de sombreamento para o cacau

c) **Recursos financeiros** - As necessidades de caixa de cada atividade do sistema foram desagregadas em seis períodos bimestrais dentro de cada ano. A unidade dos recursos financeiros é o valor da ORTN (Obrigações Reajustáveis do Tesouro Nacional). Tem-se, então, as seguintes restrições de caixa:

- Fluxos de Caixa I (jan-fev)
- Fluxos de Caixa II (mar-abr)
- Fluxos de Caixa III (mai-jun)
- Fluxos de Caixa IV (jul-ago)
- Fluxos de Caixa V (set-out)
- Fluxos de Caixa VI (nov-dez).

d) **Muares** - A tração animal é o principal meio de transporte na colheita do cacau. As condições topográficas e o sombreamento arbóreo dificultam a mecanização. Os muares são, então, explicitamente considerados como recurso de produção em uma única restrição por ano.

e) **Capacidade de manutenção de muares** - A quantidade de pasto formado irá definir a máxima lotação de muares no sistema de produção. Tem-se uma restrição por ano para este recurso.

f) **Capacidade empresarial de plantio de cacau** - A abertura e plantio de novas áreas foi limitada a um

número máximo de hectares por ano. Não se trata de uma restrição de ordem física ou de economia de escala. Procura-se, com ela, apenas, modelar o comportamento de um empresário típico da região.

g) Capacidade de secagem - A figura 3.2 apresenta a distribuição percentual de produção de cacau, pelos meses de 1983 e 1984 para toda a região cacaueira baiana. Nestes anos os picos de produção ocorrem em períodos diferentes. Contudo, a observação destes e de outros anos, mostra que os picos de produção ficam sempre em torno de 20% da produção total do ano. Por outro lado, o fluxo de produção de cacau, desde o período de maturação até a secagem, pode ser atrasado ou adiantado, nas operações de colheita, quebra, transporte e fermentação, de forma que o pico de produção pode ser diluído em até um mês, mesmo que ocorram chuvas neste período. Assim, dado este período crítico, a capacidade de secagem tem sua unidade de medida adequadamente estabelecida no modelo em arrobas de cacau por mês. Cada hectare de cacau exigirá, no máximo, 20% de sua produção anual em capacidade de secagem por mês.

h) Capacidade de residência de trabalhadores rurais - A cultura do cacau, nas condições climáticas do sul da Bahia, como visto, tem produção praticamente o ano todo. Assim, é necessário que as empresas agrícolas

Figura 3.2 - Distribuição mensal da produção de cacau nos anos a)1983 e b)1984 na região cacaueira da Bahia. (Fonte: Banco de dados para a previsão de safras do Centro de Pesquisas do Cacau).

ofereçam condições para moradia de trabalhadores. A necessidade de moradias passa a ser efetiva a partir dos estágios produtivos da cultura, isto porque, nos estágios de formação de lavouras, as atividades exigem mão-de-obra de forma mais sazonal. Isto fez com que, no modelo, a demanda por moradias ficasse vinculada ao volume de produção de cacau, havendo uma restrição deste tipo para cada ano.

1) **Demanda de despesas gerais e remuneração do empresário** - Uma parte dos recursos financeiros, diretamente proporcional ao valor da produção de cacau, é, sistematicamente, extraída a cada ano do sistema. A modelagem desta restrição age como "proxy" à retirada de recursos na forma de pró-labore do empresário e para despesas que não puderam ser especificadas no modelo. Por outro lado, a vinculação destas retiradas ao valor da produção, pressupõe que estes custos não especificados e as retiradas do empresário se ampliem com o crescimento da empresa.

3.5.4 - Atividades do modelo.

a) **Abertura e preparo do solo** - Dos seis níveis de recursos de solo do modelo, apenas o solo tipo A aberto estaria apto ao plantio de cacau. Os restantes têm de ser elevados à categoria de solo tipo A aberto através das atividades de abertura e preparo de solo, dadas a seguir:

- Derruba total de mata em solo A
- Derruba total de mata em solo B
- Calagem e recuperação de solo B
- Cabruca de solo A
- Cabruca de solo B.

Estas são um exemplo de atividades de transformação de um recurso produtivo em um outro de natureza diferente. Com efeito, a Derruba total de mata em solo A, transforma o recurso Solo A não aberto em Solo A aberto.

b) Viveiro de mudas - Antes do plantio, é preciso cultivar mudas em viveiro, para transplantá-las na época adequada. Esta atividade supre a demanda por mudas das atividades de produção de cacau.

c) Produção de cacau - Como já salientado, a cultura do cacau foi segmentada em estágios de um ano, da seguinte forma:

- Cacau plantio
- Cacau ano 1
- Cacau ano 2
- Cacau ano 3
- Cacau ano 4
- Cacau ano 5
- Cacau ano 6
- Cacau ano 7 e 8

- Cacau ano 9
- Cacau ano 10

Tais estágios diferenciam-se pelos custos de produção e/ou pela produtividade, sendo que, do ano 10 em diante, há uma relativa estabilidade, que permitiu considerar num mesmo estrato o cacau com dez anos ou mais.

d) **Renovação de cacauais** - As lavouras de cacau antigas, com espaçamentos inadequados, podem ser renovadas por um processo que consta, basicamente, do plantio de novos cacaueiros entre as plantas antigas, poda paulatina destas plantas e regularização do sombreamento definitivo pelo plantio de árvores. O processo de renovação dura quatro anos até que a lavoura atinja o status de "Cacau ano 5", quando, dali em diante, segue a mesma evolução das atividades de produção de cacau. Portanto, as atividades de renovação são:

- Renovação ano 1
- Renovação ano 2
- Renovação ano 3
- Renovação ano 4.

e) **Erradicação de cacau** - Caso o sistema necessite de solo ocupado por cacaueiros para a sua utilização em outras culturas (que possam vir a ser incorporadas no sistema de produção), a presente atividade

poderá ser acionada para erradicar em parte ou toda a cultura do cacau.

f) **Controle da podridão parda** - A podridão parda é doença endêmica que assola os cacauais no sul da Bahia e, portanto, necessita de controle sistemático. Tal controle foi destacado em uma atividade à parte para permitir posteriores simulações que, porventura, pudessem se fazer necessárias no âmbito do controle fitossanitário do cacau.

g) **Formação de pasto para muares** - Caso o sistema não tenha suficiente pastagem para manter os muares necessários à condução da lavoura de cacau, esta restrição poderá ser relaxada pelas atividades de formação de pastagem, cujo fim é acrescentar maior capacidade de manutenção de muares. O processo de formação é concluído em três anos, a partir do preparo de solo. Existem, portanto, três atividades de formação de pastagem:

- Formação de pastagem Plantio.
- Formação de pastagem Ano 1.
- Formação de pastagem Ano 2.

h) **Manutenção de muares** - Os custos com vacinas, defensivos, arreios, etc. para muares são considerados nesta atividade.

i) **Secagem e beneficiamento de cacau** - O cacau produzido nos três períodos considerados (paradeiro, temporão e safra), antes de ser comercializado, deve passar por operações de fermentação e secagem. Estas consomem cacau mole produzido nas lavouras e o transformam em cacau seco apropriado à comercialização. Construíram-se, então, três atividades:

- Secagem e beneficiamento - paradeiro
- Secagem e beneficiamento - temporão
- Secagem e beneficiamento - safra.

j) **Venda de cacau** - O cacau em estoque pode ser vendido em qualquer período de caixa. Portanto, foram criadas seis atividades de venda de cacau que demandam cacau seco e fornecem recursos financeiros. São elas:

- Venda de cacau caixa I
- Venda de cacau caixa II
- Venda de cacau caixa III
- Venda de cacau caixa IV
- Venda de cacau caixa V
- Venda de cacau caixa VI

k) **Estocagem de cacau** - O cacau produzido e não vendido poderá ser estocado pelo acionamento de uma das três atividades de estocagem que demandam cacau seco em um período e o fornece no período subsequente. São elas:

- estocagem do paradeiro para o temporão
- estocagem do temporão para a safra
- estocagem da safra para o paradeiro do ano seguinte.

1) Compra de mão-de-obra - Os recursos de mão-de-obra podem ser aumentados se uma das seis atividades de compra de mão-de-obra for acionada ao custo de retirar-se recursos financeiros do sistema. As atividades de compra de mão-de-obra são assim denominadas:

- Compra de mão-de-obra caixa I
- Compra de mão-de-obra caixa II
- Compra de mão-de-obra caixa III
- Compra de mão-de-obra caixa IV
- Compra de mão-de-obra caixa V
- Compra de mão-de-obra caixa VI.

Os recursos financeiros retirados de cada linha de caixa correspondem ao salário real, ou seja, o salário nominal descontado pela taxa de inflação, que é um dos parâmetros considerado no modelo. Semestralmente, os salários são reajustados recompondo-se as suas perdas. Dessa forma, é incorporada a variação do salário real causada pela corrosão inflacionária. Isto, contudo, só ocorre no modelo com o salário; todos os outros preços foram considerados como completamente indexados (muito embora o modelo permita

trabalhar com variações reais nos preços, em geral (vide seção 3.5.7 b e d).

m) **Compra de muares** - Caso o sistema não tenha suficiente número de muares, esta restrição poderá ser relaxada pelas atividades de compra de muares que acrescentarão mais animais ao sistema, mas também, retirarão recursos financeiros. Permitiu-se somente adquirir muares nos períodos de caixa I e VI. Tem-se, então, as atividades:

- Compra de muares caixa I
- Compra de muares caixa VI

Os muares adquiridos no caixa I estariam disponíveis no próprio ano em que a atividade foi acionada; já os muares adquiridos no caixa VI somente relaxariam a restrição de muares do ano seguinte. No modelo, foi considerada uma taxa de perda de capacidade (por envelhecimento ou morte) que reduz o número de muares a cada ano.

n) **Investimento em secadores** - Caso a capacidade de secagem não seja suficiente para o sistema, esta restrição poderá ser relaxada pela aquisição ou construção de novos secadores que ampliarão a capacidade de secagem nos anos seguintes, sujeitos, contudo, a uma taxa de perda de eficiência (depreciação) anual. São contemplados três tipos diferentes de secadores, resultando nas seguintes atividades:

- Investimento em Secador Tubular
- Investimento em Secador Plataforma
- Investimento em Secador Barcaça.

o) Construção de casas para trabalhadores rurais

- Caso o sistema não tenha suficiente área contruida para a residência dos trabalhadores, conforme explanado na restrição "h", esta atividade poderá ser acionada para relaxar tal restrição.

p) Despesas gerais e remuneração do empresário -

Para atender a restrição "i", esta atividade será obrigatoriamente acionada caso haja alguma produção no sistema.

q) Crédito para implantação ou renovação de

cacauais - Caso os recursos financeiros não sejam suficientes para a realização das atividades de plantio e/ou renovação de cacauais (mesmo porque, estes recursos podem ter sido aplicados no mercado financeiro), esta restrição poderá ser relaxada pelo acionamento de atividades de contratação de crédito rural, especialmente para este fim. Estas atividades, em síntese, produzem recursos financeiros em um período e os retiram, acrescidos de juros nominais, em outros períodos de caixa de outros anos. O efeito da inflação sobre o valor real das liberações e recolhimentos do crédito nos diferentes anos

foi considerado nos coeficientes do modelo. O nível dessas atividades está restrito ao volume de cacauzeiros a serem plantados ou renovados, ou seja, cumprindo normas do crédito rural que definem esta limitação. Tais normas ainda estabelecem:

Juros: 85% da variação do valor das ORTN's mais 3% ao ano, cobrados semestralmente, mas podendo ser financiados nas mesmas bases do principal.

Liberações: proporcionais ao valor nominal do crédito, assim distribuídas:

- primeiro ano: 49%
- segundo ano: 18%
- terceiro ano: 17%
- quarto ano: 16%

Pagamentos: proporcionais à dívida nominal, assim distribuídos:

- quinto ano: 10%
- sexto ano: 20%
- sétimo ano: 30%
- oitavo ano: 40%

Limites de financiamento para diferentes categorias de produtor rural, conforme quadro a seguir:

Categoria de produtor	Faixa de renda bruta em MVR ⁽¹⁾	Limite de financiamento em %
Mini	Menos de 200	100
Pequeno	De 200 a 600	100
Médio	De 600 a 3000	80
Grande	Mais de 3000	60

(1) MVR : Maior Valor de Referência = Cr\$87977,20 em fevereiro de 1985, correspondendo a 3,19 ORTN's.

Desta forma, tem-se as seguintes atividades de crédito:

- Crédito plantio Ano 1
- Crédito plantio Ano 2
- Crédito plantio Ano 3
- Crédito plantio Ano 4
- Crédito plantio Ano 5
- Crédito plantio Ano 6
- Crédito plantio Ano 7
- Crédito plantio Ano 8

As normas deste tipo de crédito não estipulam nenhuma correção monetária para o valor das liberações do Ano 2 até o 4. Como o modelo foi construído para poder ter a taxa de inflação como um parâmetro, foi possível, através de um programa gerador (descrito mais adiante), nele incorporar a queda no valor real das liberações. Então, dados:

A_k : valor nominal da liberação do ano k;

R_k : valor real da liberação do ano k;

$D_k = A_k - R_k$: desvalorização real do ano k;

L_j : taxa de inflação no ano j;

O valor real da liberação do ano k também é dado

por:

$$R_k = A_k \left[\prod_{j=1}^{k-1} (1 + L_j) \right]^{-1} \quad (4)$$

Então,

$$D_k = A_k - A_k \left[\prod_{j=1}^{k-1} (1 + L_j) \right]^{-1} \quad (5)$$

ou

$$A_k - \left(1 - \left[\prod_{j=1}^{k-1} (1 + L_j) \right]^{-1} \right)^{-1} \cdot D_k = 0 \quad (6)$$

A equação (6) é uma das equações do modelo de programação linear, onde a expressão entre chaves é calculada no programa gerador e inserida na matriz como um coeficiente técnico da atividade D_k , que, forçosamente, deverá assumir o valor correspondente à desvalorização real da liberação no ano k. As atividades D_k , então, retiram esse recurso financeiro no período de caixa onde entra a liberação do crédito no ano k. São assim denominadas tais atividades:

- Desconto do valor real Ano 2
- Desconto do valor real Ano 3
- Desconto do valor real Ano 4

r) Crédito para o custeio de lavouras (penhor) -

A falta de recursos financeiros para o custeio da lavouras poderá ser sanada pelo acionamento de atividades de contratação de crédito de custeio. As normas desta modalidade de crédito, à época da construção do modelo, determinavam que o montante a ser contratado seria proporcional ao volume de produção de cacau da propriedade agrícola. Os contratos realizados até o final do mês de março de cada ano teriam liberados no ato 50% do montante nominal contratado e 50% após 30 dias. Para os contratos feitos até maio, haveria liberação imediata de 100%. Em 30 de setembro, do mesmo ano, o tomador pagaria 30% da dívida e o restante em 31 de janeiro do ano seguinte. Os juros seriam calculados e capitalizados junto ao principal em 30 de junho e 31 de dezembro. Os juros correspondiam a 85% da variação das ORTN's mais 3% ao ano. Tais normas foram então modeladas e definem os coeficientes de duas atividades (já que o contrato permanece em dois anos civis):

- Crédito penhor Ano 1
- Crédito penhor Ano 2.

s) Empréstimo a juros de mercado - Tendo em

vista a possibilidade das necessidades de caixa não serem plenamente supridas, nem mesmo pelas atividades de crédito rural, foi modelada, para cada período de caixa, uma atividade de tomada de recursos no mercado financeiro. O

prazo destes empréstimos é de 90 dias e a taxa de juros real, que embute uma estimativa de reciprocidade indireta ao banco, foi estimada em 15% ao ano. Dessa forma, tem-se as seguintes atividades:

- Empréstimo a juros de mercado I
- Empréstimo a juros de mercado II
- Empréstimo a juros de mercado III
- Empréstimo a juros de mercado IV
- Empréstimo a juros de mercado V
- Empréstimo a juros de mercado VI.

t) **Aplicação no mercado financeiro** - Os recursos financeiros do sistema, se não houver atividade de produção mais atraente, podem ser aplicados no mercado financeiro com o prazo de resgate de seis meses, à taxa de juros real de 10% ao ano. Esta então, pode ser considerada como a taxa mínima de atratividade do sistema, já que, qualquer atividade produtiva, que não gere uma taxa interna de retorno maior ou igual a esta, não será acionada, para que os recursos financeiros a ela destinados possam ser aplicados no mercado financeiro.

Foram então modeladas uma destas atividades para cada período de caixa, resultando, nas seguintes atividades:

- Aplicação semestral caixa I
- Aplicação semestral caixa II
- Aplicação semestral caixa III

- Aplicação semestral caixa IV
- Aplicação semestral caixa V
- Aplicação semestral caixa VI

3.5.5 - Função objetivo

A função objetivo a ser maximizada é o valor presente das rendas líquidas (positivas ou negativas) anuais de cada atividade no horizonte de 20 anos descontadas à taxa de 10% ao ano. Isto corresponde ao valor presente do "patrimônio líquido" da empresa neste horizonte.

3.5.6 - Dimensão da matriz de coeficientes técnicos

No estágio até aqui descrito a matriz de coeficientes técnicos possui 98 atividades e 90 restrições por ano, gerando-se um total de 1960 atividades por 1800 restrições nos 20 anos do horizonte de planejamento.

3.5.7 - Programa gerador de matrizes

Para a construção da presente matriz foi elaborado um programa gerador escrito em Fortran, que transcreve a matriz em formato próprio para a aplicação de pacotes de resolução de programação matemática tais como MPSX da IBM, TEMPO da Burroughs, APEX da CDC e MINUS da Universidade de Stanford. O programa, além de agilizar a construção da matriz no tocante à velocidade de modelagem e redução nas fontes de erros, possibilita ainda:

- a) parametrizar a taxa de desconto do valor presente;
- b) parametrizar um perfil de inflações anuais do primeiro ao último ano do horizonte de planejamento;
- c) modificar prazo, taxa e outras condições do crédito rural;
- d) parametrizar um perfil de preços anuais de cacau do primeiro ao último ano do horizonte de planejamento.

3.5.8 - Novas tecnologias a serem analisadas

As possibilidades tecnológicas de aproveitamento de subprodutos do cacau são apresentadas no diagrama da figura 3.3, extraída de LOPES et alii (1985). As tecnologias a serem analisadas foram modeladas em forma de vetores de coeficientes técnicos, juntamente com as atividades de investimento em infra-estrutura necessária para a sua execução. Considerou-se, então as seguintes tecnologias:

- a) confinamento de bovinos de corte com ração a base de casca fresca de cacau - Esta tecnologia foi modelada para ser executada nos meses de maio a agosto, no sentido de possibilitar a comercialização dos bovinos gordos no pico da entressafra da pecuária de corte. Conforme a figura 3.3, a atividade produz como subproduto o esterco que poderá ser utilizado como adubo ou na alimentação de peixes. Esta atividade requer, ainda, uma atividade de investimentos em

estábulo para confinamento, caso o sistema de produção já não o tenha.

b) Produção de leite com vacas alimentadas com casca de cacau - Esta tecnologia, além de casca de cacau, requer pastagem para o gado e produz esterco para o uso na adubação e piscicultura. Necessita, também, de uma atividade de investimento em estábulos e equipamento de ordenha.

c) Piscicultura - A criação de tilápias ou carpas poderá se dar com alimentação à base de casca de cacau fresca, esterco de curral, ou efluente de biodigestor. Além destes insumos é necessária uma área apropriada para a construção de viveiros e uma atividade de investimento nestas instalações.

d) Produção de biogás a partir da casca de cacau - Esta atividade, além da produção de gás, ao qual foi imputado um preço por metro cúbico de 1/30 do preço de um botijão de 13 kg de GPL (BEDUSCHI et alii, 1981), produz um efluente (biofertilizante) que poderá ser usado na adubação de lavouras e na piscicultura. A atividade requer investimento em um biodigestor indiano com capacidade de produção de 10m³ dia.

e) Produção de suco de cacau - Esta atividade requer como matéria-prima a polpa do fruto do cacau e a atividade de investimento em uma fábrica de suco a nível de fazenda.

f) Adubação orgânica do cacau - A adubação orgânica poderá ser realizada com esterco de curral ou com efluente de biodigestor. A adubação orgânica permite uma economia correspondente em adubação mineral.

g) Colheita de Frutos inteiros - As tecnologias que usam subprodutos do cacau necessitam que o mesmo seja colhido na forma de frutos inteiros e que a sua quebra seja feita fora da lavoura. Este processo requer mais mão-de-obra e muito mais muares para a sua realização

3.5.10 - Obtenção dos Dados

Os valores dos coeficientes técnicos foram obtidos em entrevistas junto a técnicos e pesquisadores de diversas divisões do Centro de Pesquisas do Cacau. Para a concepção do modelo e estimativa dos dados, também contribuíram inúmeras visitas a propriedades agrícolas e a consulta à literatura destinada à divulgação de tecnologias aos cacaucultores. Inicialmente, procurou-se obter tais dados em uma propriedade agrícola da região. Contudo não se

encontrou uma empresa que tivesse um sistema contábil em que se pudesse reconstituir a tecnologia utilizada. A contabilidade disponível nas propriedades visitadas ou tinha apenas um cunho financeiro, não havendo preocupação com o dispêndio físico de insumos ou, então, havia uma excessiva agregação dos dados em termos de áreas trabalhadas, tanto no aspecto solo quanto no estado de desenvolvimento do cacau nas diferentes glebas.

3.6 Limitações do modelo

3.6.1 - Introdução

As limitações do modelo são apresentadas juntamente com as formas pelas quais estas poderiam ser evitadas. Poder-se-ia dizer, então, que tais limitações estão presentes no modelo mais por uma questão de custo do que de possibilidade de contorná-las.

3.6.2 - Divisibilidade dos fatores

O modelo aqui proposto trata alguns investimentos, como construção de biodigestor e fábrica de suco, na forma de variáveis contínuas, embora estes tenham natureza discreta. A implicação desta limitação será tanto mais séria quanto mais distanciado for o nível da atividade de investimento da escala unitária do mesmo. De qualquer modo, não se trata de uma limitação intransponível, já que,

pode-se, com algum custo computacional, resolver o problema usando-se algoritmos de Programação Inteira Mista (MIP).

3.6.3 - Determinismo dos coeficientes técnicos

Os coeficientes técnicos do modelo são variáveis aleatórias cuja dispersão não foi considerada. Isto poderia ser feito utilizando-se um modelo estocástico que incorporasse as distribuições amostrais destas variáveis como em RODRIGUEZ (1987).

O caráter determinista vem, sem dúvida, restringir o grau de generalizações que se possa dar aos resultados de experimentos (rodadas) a que o modelo venha a ser submetido. Da forma como os dados foram obtidos, acredita-se, porém, que os valores dos coeficientes técnicos do modelo estejam num intervalo com alta probabilidade de ocorrência. De qualquer modo, o que se pode inferir de tais experimentos, seria semelhante ao que se inferiria se estes fossem realizados fisicamente em uma única propriedade agrícola, como sugerido em TORCHELLI (1983). A interpretação dos resultados estaria restrita àquele sistema de produção. Contudo, mesmo assim, tais resultados seriam úteis para a orientação de ações no âmbito institucional (pesquisa, extensão, políticas regionais, etc.) e privado (administração de empresas agrícolas). Vantagens óbvias em termos de custo e economia de tempo são alcançadas se um modelo matemático for utilizado para tal experimento.

Ainda, uma outra maneira de encarar o problema, seria tomar o modelo não como um modelo de simulação, mas como um método de planejamento, um projeto. Um agricultor ou um engenheiro agrônomo, quando elabora um projeto, em geral, não faz considerações explícitas de aleatoriedade. Contudo, decisões sobre realizar ou não determinadas atividades são feitas, frequentemente, sobre projetos deste tipo. O modelo aqui construído, portanto, define um plano ótimo cujos dados básicos foram obtidos em um renomado centro de pesquisas e, portanto, pode ajudar no processo de decisão de técnicos e agricultores.

3.6.4 - Retornos Constantes a Escala

A utilização de coeficientes técnicos fixos traz a implicação de que os rendimentos e custos de cada atividade variam linearmente com a escala (nível) da mesma. Poder-se-ia, aqui também, contornar tal limitação pesquisando-se o comportamento dos retornos à escala de cada atividade, desenhando-se os eventuais retornos crescentes ou decrescentes através de segmentos de reta definidos, cada um, por vetores atividades, cujo nível (se estes estiverem na solução ótima) não poderá ultrapassar um intervalo de valores (vide Apêndice 1, seção A1.12).

4. RESULTADOS E CONCLUSÕES

4.1 Introdução

O presente modelo é composto de uma matriz de perto de 2000 linhas por 2000 colunas. Dessa forma, é muito grande o volume e a riqueza dos resultados por ele gerados. Assim, por limitações de tempo e espaço, não será possível tratar minuciosamente todos os seus "outputs". Procurar-se-á, contudo, destacar os aspectos mais importantes.

Os resultados são apresentados para 5 rodadas (experimentos). Na primeira rodada, tem-se o sistema sem a presença das novas tecnologias. Na segunda, estas são incorporadas. Na terceira, reduz-se o custo de colheita de frutos inteiros. Na quarta, retira-se do sistema as tecnologias de gado de corte e de leite. Finalmente, na quinta rodada, permite-se que a adubação orgânica e

fertilização de viveiros de peixes seja feita diretamente com casca de cacau.

4.2 Cenário básico

As condições de contorno ou cenário a que as rodadas de um modelo de programação matemática está submetido podem ser mudadas facilmente.

As rodadas do presente modelo foram feitas presupondo-se o seguinte cenário:

Uma empresa agrícola com

- 10 hectares de cacauzeiros já plantados com produtividade de 40 arrobas de amêndoas secas por hectare;
- 10 hectares de solo tipo B já aberto (sem mata);
- 20 hectares de solo tipo B não aberto;
- 30 hectares de pastagens;
- 3 cabeças de muas;
- 50 arrobas por mês de capacidade de secagem;
- Ausência inicial de moradias para colonos;
- 10 hectares por ano de capacidade empresarial máxima de plantio de cacau;
- 05 hectares aptos a serem aproveitados em piscicultura;
- 360 ORTN's de capital de giro inicial.

E um "ambiente econômico" dado por:

- Inflação de 200% a.a. no 1º ano; 150% a.a. no 2º e 3º ano; 100% a.a. no 4º, 5º e 6º ano e 50% a.a. do 7º ao 20º ano;
- Preço de cacau constante, no valor de 3,63 ORTN por arroba nos 20 anos;
- Mercado financeiro com possibilidade de tomada de empréstimo por no mínimo, 3 meses, à taxa real de 15% a.a. e aplicação de recursos por, no mínimo 6 meses, com taxa real de juros de 10% a.a.

4.3 Rodada 0 - sem a presença de novas tecnologias

4.3.1 - Introdução.

A primeira rodada, aqui apresentada, considera o sistema agrícola sem a presença das novas tecnologias geradas pelo projeto PAI. O valor da função objetivo, isto é, o valor presente do patrimônio líquido da propriedade, atingido nos 20 anos, foi de 23.913 ORTN's.

4.3.2 - Evolução da cultura do cacau.

A tabela 4.1 mostra a evolução da área ocupada com a cultura do cacau em diferentes estágios, nos 20 anos de planejamento. O primeiro ano é utilizado para o preparo de solo e formação de mudas. Assim, o primeiro plantio só é realizado no segundo ano, e em 10 hectares, quantidade máxima

Tabela 4.1 - Área Ocupada com a Cultura do Cacau em Diferentes Estágios nos 20 anos do Horizonte de Planejamento do modelo - Rodada 0

EVOLUCAO DA CULTURA DO CACAU EM HECTARES EM CADA PERIODO NO HORIZONTE DE PLANEJAMENTO											
ESTAGIO											
PERIODO	PLANTIO	AN01	AN02	AN03	AN04	AN05	AN06	AN07	AN08	AN09	AN10
1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
2	10.000	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
3	10.000	10.00	.	.	.	.	.	.	.	.	.
4	10.000	10.00	10.00	.	.	.	.	.	.	.	.
5	.	10.00	10.00	10.00	10.00	.	.	.	.	.	.
6	.	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	.	.	.	.	.
7	.	.	.	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	.	.	.
8	.	.	.	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	.	.
9	.	.	.	.	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	.
10	.	.	.	.	.	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
11	.	.	.	.	.	.	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
12	.	.	.	.	.	.	.	10.00	10.00	10.00	10.00
13	.	.	.	.	.	.	.	.	10.00	10.00	10.00
14	.	.	.	.	.	.	.	.	.	10.00	10.00
15	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	10.00
16	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	10.00
17	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	10.00
18	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	10.00
19	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	10.00
20	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	10.00

permitida pela restrição de capacidade empresarial.¹ Assim, tem-se que, no 5º ano de planejamento, o sistema possui 10 hectares em cada um dos seguintes estágios: Ano 1, Ano 2, Ano 3, resultado dos plantios realizados, respectivamente no 4º, 3º e 2º ano e, ainda, 10 hectares no estágio Ano 5, fruto da renovação iniciada no primeiro ano, de toda a área de cacau velho do sistema. A cultura evolue até que, no décimo quarto ano, toda ela está no estágio Ano 10.

4.3.3 - Produção e comercialização do cacau.

A tabela 4.2 mostra como evoluiu a comercialização do cacau em cada ano. No primeiro ano, são vendidas 400 arrobas de cacau velho, comercializando-se 40 arrobas no período de janeiro-fevereiro, 180 em março-abril e 180 em setembro-outubro. No segundo ano, as vendas caem a 48 arrobas, provenientes do mesmo cacau velho que agora está em processo de renovação, reduzindo-se, assim, a sua produtividade.

A produção apenas se reestabelece em 400 arrobas no 5º ano, atingindo estabilidade em 3200 arrobas no 13º ano. Observe-se, ainda, que não são realizadas vendas nos períodos de maio-junho e novembro-dezembro. Embora o preço do cacau seja o mesmo em termos reais em todos os períodos de caixa, é sempre mais vantajoso vender o produto

1 Rodou-se o modelo anteriormente sem esta restrição, verificando-se que no Ano 2 era realizado o plantio em toda a terra disponível.

TABELA 4.2-Volume em 100 ¢ e receita em ORTN's da venda de cacau em cada período de caixa nos 20 anos do horizonte de planejamento
RODADA 0

ANOS	JAN/FEV	MAR/ABR	MAI/JUN	JUL/AGO	SET/OUT	NOV/DEZ	ANO
1 VOLUME	0.40	1.80	0.00	0.00	1.80	0.00	4.00
RECEITA	145.40	654.30	0.00	0.00	654.30	0.00	1454.00
2 VOLUME	0.00	0.24	0.00	0.00	0.24	0.00	0.48
RECEITA	0.00	87.24	0.00	0.00	87.24	0.00	174.48
3 VOLUME	0.00	0.40	0.00	0.00	0.40	0.00	0.80
RECEITA	0.00	145.40	0.00	0.00	145.40	0.00	290.80
4 VOLUME	0.24	0.96	0.00	0.00	0.96	0.00	2.16
RECEITA	87.24	348.96	0.00	0.00	348.96	0.00	785.16
5 VOLUME	0.80	1.60	0.00	0.00	1.60	0.00	4.00
RECEITA	290.80	581.60	0.00	0.00	581.60	0.00	1454.00
6 VOLUME	1.60	3.20	0.00	0.00	3.20	0.00	8.00
RECEITA	581.60	1163.20	0.00	0.00	1163.20	0.00	2908.00
7 VOLUME	2.06	5.36	0.00	0.00	5.36	0.00	12.78
RECEITA	748.81	1948.36	0.00	0.00	1948.36	0.00	4645.53
8 VOLUME	3.20	7.80	0.00	0.00	7.60	0.00	18.60
RECEITA	1163.20	2835.30	0.00	0.00	2762.60	0.00	6761.10
9 VOLUME	3.52	10.24	0.00	0.00	10.24	0.00	24.00
RECEITA	1279.52	3722.24	0.00	0.00	3722.24	0.00	8724.00
10 VOLUME	3.52	11.44	0.00	0.00	11.44	0.00	26.40
RECEITA	1279.52	4158.44	0.00	0.00	4158.44	0.00	9596.40
11 VOLUME	3.20	12.80	0.00	0.00	12.80	0.00	28.80
RECEITA	1163.20	4652.80	0.00	0.00	4652.80	0.00	10468.80
12 VOLUME	3.20	13.60	0.00	0.00	13.60	0.00	30.40
RECEITA	1163.20	4943.60	0.00	0.00	4943.60	0.00	11050.40
13 VOLUME	3.20	14.40	0.00	0.00	14.40	0.00	32.00
RECEITA	1163.20	5234.40	0.00	0.00	5234.40	0.00	11632.00
14 VOLUME	3.20	14.40	0.00	0.00	14.40	0.00	32.00
RECEITA	1163.20	5234.40	0.00	0.00	5234.40	0.00	11632.00

continua

Tabela 4.2 - continuação

ANOS		JAN/FEV	MAR/ABR	MAI/JUN	JUL/AGO	SET/OUT	NOV/DEZ	ANO
15	VOLUME	3.20	14.40	0.00	0.00	14.40	0.00	32.00
	RECEITA	1163.20	5234.40	0.00	0.00	5234.40	0.00	11632.00
16	VOLUME	3.20	14.40	0.00	0.00	14.40	0.00	32.00
	RECEITA	1163.20	5234.40	0.00	0.00	5234.40	0.00	11632.00
17	VOLUME	3.20	14.40	0.00	0.00	14.40	0.00	32.00
	RECEITA	1163.20	5234.40	0.00	0.00	5234.40	0.00	11632.00
18	VOLUME	3.20	14.40	0.00	0.00	14.40	0.00	32.00
	RECEITA	1163.20	5234.40	0.00	0.00	5234.40	0.00	11632.00
19	VOLUME	3.20	14.40	0.00	0.00	14.40	0.00	32.00
	RECEITA	1163.20	5234.40	0.00	0.00	5234.40	0.00	11632.00
20	VOLUME	3.20	14.40	0.00	0.00	14.40	0.00	32.00
	RECEITA	1163.20	5234.40	0.00	0.00	5234.40	0.00	11632.00

FONTE: Resultados do modelo

de um sub-período de produção (paradeiro, temporão ou safra) nos meses em que este se inicia, uma vez que se pode aplicar o dinheiro em outras atividades produtivas ou, no mínimo, no mercado financeiro.

A venda no início do sub-período produtivo, sem que toda a produção esteja colhida, equivale a uma venda futura de prazo não superior a quatro meses, o que é prática bastante comum entre produtores e comerciantes de cacau no sul da Bahia. Portanto, em função disso, as atividades de estocagem de cacau não são acionadas em todo o horizonte de planejamento.

4.3.4 Liquidez do sistema

A tabela 4.3 mostra o fluxo de tomada e aplicação de recursos no mercado financeiro em cada período de caixa nos 20 anos de planejamento. A figura 4.1 mostra o saldo dessas operações (aplicações-tomadas) em três anos distintos: 2º, 7º e 14º. Tem-se, então uma idéia da magnitude da liquidez do sistema. Observa-se no 7º ano uma liquidez bem mais "apertada" do que no segundo ano, fruto da necessidade de investimentos que, no modelo, não estavam amparados por crédito rural, como secadores e casas de colonos. Já os investimentos no plantio e renovação, que foram realizados no 2º ano, foram integralmente cobertos com recursos do crédito rural.

TABELA 4.3 - Operações financeiras em cada período de caixa nos 20 anos do horizonte de planejamento - valores em ORTN's

RODADA 0

ANO	MESES=>	JAN-FEV	MAR-ABR	MAI-JUN	JUL-AGO	SET-OUT	NOV-DEZ	ANO
1	TONADA	0.00	0.00	0.00	826.25	0.00	0.00	826.25
	APLICAÇÃO	93.08	905.57	74.60	880.65	470.80	0.00	2424.70
	SALDO	93.08	905.57	74.60	54.40	470.80	0.00	1598.45
2	TONADA	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0000	0.00
	APLICAÇÃO	27.72	981.60	171.44	0.00	321.87	24.30	1526.93
	SALDO	27.72	981.60	171.44	0.00	321.87	24.30	1526.93
3	TONADA	1019.40	0.00	0.00	0.00	662.94	928.51	2610.85
	APLICAÇÃO	30.49	100.03	0.00	0.00	0.00	0.00	130.52
	SALDO	-988.91	100.03	0.00	0.00	-662.94	-928.51	-2480.33
4	TONADA	2044.40	1015.60	1068.70	1129.30	1293.30	1654.30	8205.60
	APLICAÇÃO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	SALDO	-2044.40	-1015.60	-1068.70	-1129.30	-1293.30	-1654.30	-8205.60
5	TONADA	1870.80	1424.20	1547.10	1621.90	1608.10	2116.20	10188.30
	APLICAÇÃO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	SALDO	-1870.80	-1424.20	-1547.10	-1621.90	-1608.10	-2116.20	-10188.30
6	TONADA	2094.50	1427.70	1701.70	1823.60	1382.00	1967.20	10396.70
	APLICAÇÃO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	SALDO	-2094.50	-1427.70	-1701.70	-1823.60	-1382.00	-1967.20	-10396.70
7	TONADA	1953.50	455.43	809.65	962.49	0.00	594.04	4775.11
	APLICAÇÃO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	SALDO	-1953.50	-455.43	-809.65	-962.49	0.00	-594.04	-4775.11
8	TONADA	408.26	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	408.26
	APLICAÇÃO	0.00	1308.40	0.00	0.00	2299.10	0.00	3607.50
	SALDO	-408.26	1308.40	0.00	0.00	2299.10	0.00	3199.24
9	TONADA	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	APLICAÇÃO	41.66	4785.40	0.00	587.90	6226.40	380.55	12021.91
	SALDO	41.66	41.66	0.00	587.90	6226.40	380.55	12021.91
10	TONADA	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	APLICAÇÃO	507.00	10937.00	0.00	293.61	13382.00	0.00	25119.61
	SALDO	507.00	10937.00	0.00	293.61	13382.00	0.00	25119.61

contua.

Tabela 4.3 - continuação

RODADA 0

ANO	MESES=>	JAN-FEV	MAR-ABR	MAI-JUN	JUL-AGO	SET-OUT	NOV-DEZ	ANO
11	TOMADA	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	APLICAÇÃO	0.00	16048.00	1203.90	1164.20	19993.00	392.81	38801.91
	SALDO	0.00	16048.00	1203.90	1164.20	19993.00	392.81	38801.91
12	TOMADA	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	APLICAÇÃO	858.84	26536.00	0.00	638.81	26841.00	3503.80	58378.45
	SALDO	858.84	26356.00	0.00	836.31	26641.00	0.00	58378.45
13	TOMADA	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	APLICAÇÃO	259.68	34059.00	3251.00	0.00	32346.00	2234.80	72150.48
	SALDO	259.68	34059.00	3251.00	0.00	32346.00	2234.80	72150.48
14	TOMADA	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	APLICAÇÃO	451.60	45810.00	1971.30	201.51	52601.00	11079.20	112114.61
	SALDO	451.60	45810.00	1971.30	201.51	52601.00	11079.20	112114.61
15	TOMADA	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	APLICAÇÃO	360.32	59713.00	848.25	105.67	67198.00	0.00	128225.24
	SALDO	360.32	59713.00	848.25	105.67	67198.00	0.00	128225.24
16	TOMADA	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	APLICAÇÃO	259.68	0.00	74651.00	0.00	4469.60	77493.00	156873.28
	SALDO	259.68	0.00	74651.00	0.00	4469.60	77493.00	156873.28
17	TOMADA	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	APLICAÇÃO	148.73	9207.20	80573.00	288.44	14167.00	83711.00	188095.37
	SALDO	148.73	9207.20	80573.00	288.44	14167.00	83711.00	188095.37
18	TOMADA	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	APLICAÇÃO	451.60	19358.00	85506.00	201.51	24826.00	90991.00	221334.11
	SALDO	451.60	19358.00	85506.00	201.51	24826.00	90991.00	221334.11
19	TOMADA	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	APLICAÇÃO	360.32	0.00	100000.00	105.67	0.00	100000.00	200465.99
	SALDO	360.32	0.00	100000.00	105.67	0.00	100000.00	200465.99
20	TOMADA	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	APLICAÇÃO	259.68	4482.60	100000.00				104742.28
	SALDO	259.68	4482.60	100000.00	0.00	0.00	0.00	104742.28

FONTE: Resultados do modelo

Figura 4.1 – Saldo operações financeiras

No 14º ano houve sobra de recursos bem mais significativa, que pode ser aplicada no mercado financeiro.

4.3.5 - Ocupação de mão de obra.

A tabela 4.4 mostra o fluxo de ocupação de mão de obra no sistema de produção em cada um dos 20 anos do horizonte de planejamento. Tem-se as maiores demandas de mão de obra no 2º, 3º e 4º ano, devido à implantação da cultura de cacau nestes anos. O volume de mão de obra cai no 5º ano, crescendo novamente no 6º ano, até atingir estabilidade no 13º ano.

4.3.6.- Investimentos

Como apontado na seção 3.6.2, uma limitação do presente modelo é tratar certos investimentos como variáveis contínuas. Estes teriam, então, perfeita divisibilidade. Assim, os resultados de todas as rodadas apresentam os investimentos, feitos em cada ano, no montante de sua necessidade para este período. Por exemplo, a cada ano, é construída uma quantidade a mais em metros de secadores para dar conta do crescimento da produção de cacau daquele ano.

Os resultados aqui apresentados mostram a soma desses investimentos nos 20 anos. Dessa forma, para a presente rodada foram realizados seguintes investimentos :

TABELA 4.4 - Fluxos de ocupação de mão-de-obra
nos 20 anos do horizonte de plane-
jamento.

RODADA 0

ANOS	MÃO DE OBRA EM 10 JORNADAS	PERCENTUAL NOS VINTE ANOS
1	185.81	2.963%
2	403.08	6.427%
3	491.35	7.835%
4	370.38	5.906%
5	219.39	3.498%
6	235.28	3.752%
7	248.29	3.959%
8	275.02	4.385%
9	292.74	4.668%
10	302.94	4.831%
11	313.14	4.993%
12	319.94	5.102%
13	326.74	5.210%
14	326.74	5.210%
15	326.74	5.210%
16	326.74	5.210%
17	326.74	5.210%
18	326.74	5.210%
19	326.74	5.210%
20	326.74	5.210%
TOTAL	6271.28	100.000%

FONTE: Resultados do modelo

a) **Secador** - O secador escolhido foi o tipo plataforma, construindo-se 11,13m² do mesmo. Gerando-se, então, uma capacidade de secagem de 590 arrobas de cacau por mês, que somadas às 50 arrobas já existentes, resultam em 640 arrobas. O suficiente para a secagem das 3200 arrobas de produção anual;

b) **Casas para colonos** - A partir da relação de que uma fazenda de 1000 arrobas de cacau teria 3 casas de 50m², o nível ótimo de casas construídas nos 20 anos foi de 9,6 casas.

c) **Muares** - O número de muares total do sistema atingiu a 5 cabeças, a partir da necessidade de 0,125 muares por hectare de cacau safreiro.

4.4 - Rodada 1 - todas as novas tecnologias presentes.

A rodada aqui apresentada tem disponíveis todas as novas tecnologias descritas na seção 3.5.8. Em síntese, os resultados mostraram que nenhuma daquelas tecnologias foi adotada. A função objetivo e o nível de todas as atividades do sistema alcançaram os mesmos valores que na rodada anterior.

Este resultado levou a que se fizesse necessário um levantamento dos retornos individuais de cada nova atividade. Este levantamento veio a determinar que as atividades de colheita de frutos inteiros eram as

responsáveis pelo não acionamento de nenhuma das atividades ligadas às novas tecnologias.

Na colheita tradicional, os frutos de cacau são quebrados e as amêndoas, com parte da mucilagem a elas aderida, são transportadas em muares até a sede das fazendas. A casca do cacau é, então, deixada no campo. Para o aproveitamento da casca e da mucilagem integralmente, é preciso que os frutos sejam transportados inteiros. Isto, obviamente, onera muito os custos de colheita.

Foi interessante notar que, à época da realização deste trabalho, não havia no Centro de Pesquisas do Cacau nenhuma pesquisa no sentido de propor formas menos custosas de transporte do cacau colhido inteiro. O custo das atividades de colheita de frutos inteiros, considerado no modelo, foi estimado pressupondo-se que o cacaucultor não disporia de nenhum novo método ou equipamento, a não ser os tradicionais animais e balaies de vime. Como resultado, dado este cenário, as novas tecnologias mostraram-se inviáveis.

4.5 Rodada 2 - Com novas tecnologias e com menor custo de colheita de frutos inteiros.

4.5.1 - Introdução.

O custo de colheita de frutos inteiros impediu, na rodada anterior, a adoção de qualquer das novas tecnologias. Na presente rodada, contudo, pressupôs-se,

otimisticamente, que o custo por arroba do cacau colhido inteiro incorporaria apenas a mão de obra, mas não o grande volume de animais de carga (8 vezes mais do que na colheita tradicional). O valor alcançado pela função objetivo, nesta rodada, foi de 25.398 ORTN's. Este valor é apenas 6% superior ao obtido no sistema sem novas tecnologias.

4.5.2 - Comportamento das novas tecnologias no sistema de produção.

A tabela 4.5 traz o nível de adoção de cada uma das novas tecnologias na solução ótima do modelo.

a) Gado de corte e de leite - As atividades de gado de corte e as de gado de leite concorrem entre si pela casca de cacau, usada como alimento. No primeiro e no segundo ano não é usada toda a casca de cacau, uma vez que, nestes anos, as atividades de colheita de frutos inteiros não são acionadas para toda a produção. Dessa forma, parte das cascas são deixadas no campo. As 1,4 "unidades-vaca" do primeiro ano, que depois permanecem neste nível do 4º ao 20º ano, consomem 14 toneladas de cascas por ano. Já as 2,1 cabeças de gado confinado no 1º ano consomem 9,45 toneladas de cascas. O rendimento na produção de esterco de curral é bem maior no gado de corte (0,89 kg de esterco/kg de casca) do que no de leite (0,6 kg de esterco/kg de casca). O esterco de curral, por sinal é bastante valorizado no sistema no segundo

Tabela 4.5 - Nível de adoção das novas tecnologias testadas.

Rodada 2

TECNOLOGIAS ADOPTADAS						

PERIODO	A	B	C	D	E	F
1	.21	16.87	.14	.	.	.01
2	.11	.	.	.18	.	.01
3	.21	.	.	.36	.	.02
4	.17	3.19	.14	.50	.	.03
5	.58	19.54	.14	.50	.	.10
6	1.47	55.10	.14	.50	.	.19
7	2.54	97.77	.14	.50	.	.32
8	3.73	147.54	.14	.50	.	.45
9	5.02	197.32	.14	.50	.	.61
10	5.50	218.65	.14	.50	.	.69
11	5.09	239.99	.14	.50	.	.77
12	6.45	254.21	.14	.50	.	.82
13	6.80	268.43	.14	.50	.	.82
14	6.80	268.43	.14	.50	.	.82
15	6.80	268.43	.14	.50	.	.82
16	6.80	268.43	.14	.50	.	.82
17	6.80	268.43	.14	.50	.	.82
18	6.80	268.43	.14	.50	.	.82
19	6.80	268.43	.14	.50	.	.82
20	6.80	268.43	.14	.50	.	.82

LEGENDA						
A = CONFINAMENTO DE BOVINOS (10 CABECAS)						
B = ADUBAÇÃO ORGÂNICA (10T)						
C = PRODUÇÃO DE LEITE (10 UNIDADES VACAS)						
D = PISCICULTURA (HA)						
E = PRODUÇÃO DE BILHAS (10M**3)						
F = SUJO DE CACAIA (10T/N)						

Fonte: Resultados do modelo.

ano, quando, através do preço sombra deste recurso, verifica-se que, cada tonelada a mais de esterco de curral incrementaria a função objetivo em 9,9 ORTN's. Estas ponderações poderiam explicar o maior nível das atividades de gado de corte em relação ao de leite.

Por que, então, o gado de leite não tem simplesmente nível nulo na solução ótima? Na verdade, a única vantagem do gado de leite é a regularidade das receitas que apresenta em todos os meses do ano. Portanto, o nível de 1,4 "unidades-vaca" poderia ser, apenas, o suficiente para suprir alguma necessidade de caixa dentro do sistema de produção. Entretanto, a única maneira de se testar esta hipótese, é pela realização de novas rodadas, parametrizando-se os coeficientes técnicos das atividades de gado de leite.

No segundo ano, em função da renovação de 10 ha de cacau velho, a produção de cacau cai de 400 arrobas para 48 arrobas apenas. Dessa forma, só podem ser confinadas 1,1 cabeças de gado de corte que produzem esterco apenas suficiente para 0,18 ha de viveiros de peixes.

Quando a produção de cacau volta a crescer, no 4º ano, a produção de casca permite retornar ao gado de leite, agora sem investimento em estábulo, pois o mesmo já havia sido construído no primeiro ano.

b) Piscicultura - A piscicultura não é acionada no primeiro ano, em função do prazo de construção dos

viveiros para peixes. No segundo ano, atinge o nível de 0,18 ha de viveiro, esgotando todo o esterco produzido pelo gado de corte. No terceiro ano a área de viveiros dobra, e seu nível é, ainda, definido pela quantidade de esterco. Apenas a partir do 4º ano é que a piscicultura atinge o nível máximo permitido, dado pela área disponível apropriada a essa atividade. Nesta ocasião, sobra esterco de curral que, então, pode ser usado na adubação do cacau.

c) **Adubação orgânica** - A adubação orgânica, quando realizada, permite a substituição do adubo mineral utilizado nos cacauais. O cálculo da taxa de substituição levou em consideração apenas os teores de nutrientes no esterco e no adubo mineral. Não foram considerados, portanto, possíveis benefícios a nível de microbiologia do solo ou de menor perda de nutrientes, em geral, atribuídos à adubação orgânica.

No 13º ano, por exemplo, a adubação orgânica atingiu 268,43 toneladas de adubo orgânico. A análise dos preços sombra mostra que, se o sistema tivesse disponível mais 181,57 toneladas, estas seriam utilizadas, gerando-se um incremento de 0,17 ORTN'S por tonelada e substituindo completamente a adubação mineral.

d) **Suco de cacau** - A produção de suco de cacau não esgota a disponibilidade de polpa existente no 1º ano. São usadas apenas 100kg, sobrando 560kg. O investimento em uma fábrica para processar toda a polpa, ficaria ocioso no

segundo ano, em função da queda na produção causada pela renovação de cacau velho. A partir do 2º ano, à medida que a produção de polpa cresce, toda ela é utilizada para a fabricação de suco. Do 13º ao 20º ano, contudo, há, novamente, sobra de 480kg de polpa por ano. A utilização desta sobra demandaria um investimento em ampliação da fábrica de sucos no 13º ano. Contudo, neste ponto, restam apenas 8 anos para encerrar-se o horizonte de planejamento. Ou seja, o valor presente desta ampliação traz subjacente o fato de que esta somente poderá ser usada neste intervalo de tempo. A análise da amplitude de variação da contribuição da atividade (veja Apêndice 4) no 13º ano, mostra que esta contribuição (c_j) deveria crescer 9,5% para tornar econômica a ampliação em 480kg neste ano.

e) Biodigestor - A produção de gás a partir da casca do cacau não foi adotada na solução ótima desta rodada. A casca de cacau estava sendo disputada por esta tecnologia e pela criação de gado. Naturalmente, se o nível da atividade produção de biogás fosse maior que zero, as atividades de gado de corte teriam níveis menores.

4.5.3 - Evolução da cultura e comercialização do cacau.

A evolução do plantio e renovação da cultura do cacau, bem como a comercialização, não foram afetadas pela presença das novas tecnologias; portanto, seguem os mesmos valores da tabela 4.1 e 4.2.

4.5.4 - Liquidez do sistema.

A tabela 4.6 traz o fluxo de tomada e aplicação de recursos no mercado financeiro em cada período de caixa, nos 20 anos do horizonte de planejamento. A figura 4.2 mostra o saldo dessas operações em três anos distintos: 2º, 7º e 14º ano. Comparando-se a figura 4.2 com a figura 4.1, observa-se que a presença das novas tecnologias "apertou" a liquidez no 2º e 7º ano. Isto aconteceu devido aos investimentos que se fizeram necessários em função das novas tecnologias. No 14º ano, a liquidez está ligeiramente mais "apertada" no sistema com novas tecnologias do que naquele sem elas. Pode-se depreender destes resultados, também, que estas novas tecnologias têm retorno suficiente para fazer frente aos juros de mercado (15% a.a. real); embora o modelo não leve em consideração possíveis riscos de insucesso (conforme seção 3.6.3).

TABELA 4.6 - Operações financeiras em cada período de caixa nos 20 anos do horizonte de planejamento - valores em ORTN's

RODADA 2

ANOS	MESES=>	JAN-FEV	MAR-ABR	MAI-JUN	JUL-AGO	SET-OUT	NOV-DEZ	ANO
1	TONADA	0.00	0.00	0.00	929.10	0.00	0.00	929.10
	APLICAÇÃO	21.95	836.31	0.00	909.54	85.19	0.00	1852.99
	SALDO	21.95	836.31	0.00	-19.56	85.19	0.00	923.89
2	TONADA	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	216.71	216.71
	APLICAÇÃO	56.75	717.67	58.77	0.00	0.00	0.00	833.19
	SALDO	56.75	717.67	58.77	0.00	0.00	-216.71	616.48
3	TONADA	1224.60	473.77	437.00	539.34	1261.20	1638.00	5573.91
	APLICAÇÃO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	SALDO	-1224.60	-473.77	-437.00	-539.34	-1261.20	-1638.00	-5573.91
4	TONADA	2813.30	1818.70	1775.20	1924.80	1943.60	2303.10	12578.70
	APLICAÇÃO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	SALDO	-2813.30	-1818.70	-1775.20	-1924.80	-1943.60	-2303.10	-12578.70
5	TONADA	2619.60	2391.70	2427.20	2600.60	2270.50	2748.20	15057.80
	APLICAÇÃO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	SALDO	-2619.60	-2391.70	-2427.20	-2600.60	-2270.50	-2748.20	-15057.80
6	TONADA	2946.00	2933.40	3142.50	3385.80	2258.70	2752.80	17419.20
	APLICAÇÃO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	SALDO	-2946.00	-2933.40	-3142.50	-3385.80	-2258.70	-2752.80	-17419.20
7	TONADA	3022.00	2628.00	2942.80	3242.90	1089.50	1591.90	14517.10
	APLICAÇÃO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	SALDO	-3022.00	-2628.00	-2942.80	-3242.90	-1089.50	-1591.90	-14517.10
8	TONADA	1719.60	950.61	1341.70	1679.60	0.00	0.00	5691.51
	APLICAÇÃO	0.00	0.00	0.00	0.00	899.51	0.00	899.51
	SALDO	-1719.60	-950.61	-1341.70	-1679.60	899.51	0.00	-4792.00
9	TONADA	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	APLICAÇÃO	0.00	748.32	0.00	1003.60	4960.50	0.00	6712.42
	SALDO	0.00	0.00	0.00	1003.60	4960.50	0.00	6712.42
10	TONADA	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	APLICAÇÃO	788.92	7204.50	0.00	450.48	12324.00	0.00	20767.90
	SALDO	788.92	7204.50	0.00	450.48	12324.00	0.00	20767.90

continua

Tabela 4.6 - continuação

Rodada 2

ANOS	MESES=>	JAN-FEV	MAR-ABR	MAI-JUN	JUL-AGO	SET-OUT	NOV-DEZ	ANO
11	TONADA	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	APLICAÇÃO	0.00	12645.00	732.06	1572.80	19093.00	353.70	34396.56
	SALDO	0.00	12645.00	732.06	1572.80	19093.00	353.70	34396.56
12	TONADA	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	APLICAÇÃO	1179.60	23262.00	0.00	829.18	27630.00	2585.60	55486.38
	SALDO	1179.60	26356.00	0.00	836.31	26641.00	0.00	55486.38
13	TONADA	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	APLICAÇÃO	408.27	32490.00	2318.30	0.00	40670.00	1304.80	77191.37
	SALDO	408.27	32490.00	2318.30	0.00	40670.00	1304.80	77191.37
14	TONADA	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	APLICAÇÃO	888.66	44836.00	1026.30	504.41	54550.00	691.54	102496.91
	SALDO	888.66	44836.00	1026.30	504.41	54550.00	691.54	102496.91
15	TONADA	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	APLICAÇÃO	660.18	59395.00	367.69	264.50	69836.00	0.00	130523.37
	SALDO	660.18	59395.00	367.69	264.50	69836.00	0.00	130523.37
16	TONADA	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	APLICAÇÃO	408.27	0.00	75087.00	0.00	7471.80	78456.00	161423.07
	SALDO	408.27	0.00	75087.00	0.00	7471.80	78456.00	161423.07
17	TONADA	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	APLICAÇÃO	130.54	9963.00	81006.00	722.02	17933.00	84671.00	194425.56
	SALDO	130.54	9963.00	81006.00	722.02	17933.00	84671.00	194425.56
18	TONADA	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	APLICAÇÃO	888.66	20947.00	88546.00	504.41	29466.00	92587.00	232939.07
	SALDO	888.66	20947.00	88546.00	504.41	29466.00	92587.00	232939.07
19	TONADA	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	APLICAÇÃO	660.18	0.00	100000.00	264.50	0.00	100000.00	200924.68
	SALDO	660.18	0.00	100000.00	264.50	0.00	100000.00	200924.68
20	TONADA	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	APLICAÇÃO	408.27	2117.60	200000.00	0.00	0.00	0.00	202525.87
	SALDO	408.27	2117.60	200000.00	0.00	0.00	0.00	202525.87

FONTE: Resultados do modelo

Figura 1.2. Curva de deformación Rodada 2

4.5.5 - Ocupação da mão de obra.

A tabela 4.7 mostra o fluxo de ocupação de mão de obra no sistema de produção em cada um dos 20 anos do horizonte de planejamento. Na figura 4.3 tem-se um gráfico que mostra a evolução da ocupação da mão de obra na rodada 0 e na rodada 2. No total, a soma da mão de obra ocupada é 28% superior no sistema com novas tecnologias, partindo de uma diferença mínima de 1,8% no 2º ano para até 39,5% do 13º ao 20º ano, quando o sistema se estabiliza em termos de produção de cacau. Dessa forma, embora o conjunto de novas tecnologias não faça crescer substancialmente os ganhos do empresário, a renda total produzida gerará uma massa salarial significativamente maior.

4.5.6 - Investimentos.

Os investimentos realizados na rodada 0 (sem tecnologias alternativas) permaneceram nos mesmos níveis nesta rodada. A área de casas para colonos, inclusive, não foi ampliada, em virtude desta estar ligada não ao volume de mão de obra (que cresceu nesta rodada), mas ao volume de produção de cacau. Este é um problema do modelo que, futuramente, pode ser resolvido, mas que, neste caso, implica pressupor que aproximadamente 40% da mão de obra do sistema de produção não resida na fazenda, o que é bastante factível.

TABELA 4.7 - Fluxos de ocupação de mão-de-obra
nos 20 anos do horizonte de plane
jamento.

RODADA 2

ANOS	MÃO DE OBRA EM 10 JORNADAS	PERCENTUAL NOS VINTE ANOS
1	194.52	2.421%
2	410.41	5.109%
3	505.89	6.298%
4	394.19	4.907%
5	250.46	3.118%
6	280.23	3.488%
7	310.19	3.861%
8	356.35	4.436%
9	394.01	4.905%
10	412.84	5.139%
11	431.88	5.376%
12	444.44	5.533%
13	455.96	5.676%
14	455.96	5.676%
15	455.96	5.676%
16	455.96	5.676%
17	455.96	5.676%
18	455.96	5.676%
19	455.96	5.676%
20	455.96	5.676%
TOTAL	8033.09	100.000%

FONTE: Resultados do modelo

Figura 4.3 -- Mão-de-obra
Em duas rodadas

O número de muares também não foi afetado, uma vez que (conforme seção 4.5.1), nesta rodada, pressupôs-se que a colheita de frutos inteiros não demandaria nenhum animal de carga a mais do que a colheita tradicional.

O restante dos investimentos nesta rodada foram:

- a) estábulo para confinamento de bovinos: 680m²;
- b) estábulo para vacas de leite: 25,6m²;
- c) viveiro para peixes: 0,5 ha (nível máximo);
- d) biodigestor : Zero
- e) fábrica de suco, capacidade: 8,16 ton de polpa por ano.

4.6 Rodada 3 - Com novas tecnologias, exceto gado de corte e gado de leite.

4.6.1 - Introdução.

Na rodada 2 a tecnologia de produção de gás através do biodigestor, usando casca, não foi adotada na solução ótima. As atividades de gado de corte e gado de leite concorriam com o biodigestor tanto no consumo de casca de cacau, quanto como fonte de produção de matéria orgânica para a adubação e fertilização de viveiros de peixes. Assim, na presente rodada, retiraram-se os vetores das atividades de gado de corte e de leite para, sob estas condições, analisar o comportamento do biodigestor e de outras variáveis. O valor da função objetivo foi de 24.802 ORTN's.

4.6.2 - Tecnologias adotadas.

A tabela 4.8 traz o nível de adoção de cada uma das novas tecnologias adotadas pelo sistema de produção.

a) **Adubação orgânica** - A adubação orgânica inicia-se no 1º ano com um nível menor do que na rodada 2, embora mantendo-se em níveis maiores do que aquela rodada do 4º ao 9º ano. Isto se deve a que o biodigestor é mais eficiente, em termos de peso, na conversão de casca de cacau em adubo orgânico.

Diferentemente da rodada 2, não foi aproveitada toda a casca de cacau produzida pelo sistema nos 20 anos. A colheita de frutos inteiros foi acionada para toda a produção, apenas nos anos 2, 3, 4, 6, 8 e 9. Nesta rodada, também não há sobra de polpa de cacau em nenhum dos anos, enquanto na rodada 2 havia sobra de 480 kg do 13º ao 20º ano. Conclui-se que, naquela rodada, a colheita de frutos inteiros era realizada visando suprir de casca de cacau as atividades de gado de corte e de leite, arcando-se com uma sobra de polpa. Na presente rodada o objetivo da colheita de frutos inteiros foi suprir de polpa a fábrica de suco de cacau, arcando-se com uma perda de cascas.

b) **Piscicultura** - A piscicultura evoluiu com maior velocidade do que na rodada 2, até atingir seu limite de 0,5ha. Deve-se isto, também, à maior eficiência de

Tabela 4.8 - Nível de adoção das novas tecnologias.

Rodada 3

TECNOLOGIAS ADOADAS						
PERIODO	A	B	C	D	E	F
1	.	9.60	.	.	.10	.01
2	.	.	.	.20	.05	.01
3	.	.	.	.40	.10	.02
4	.	9.60	.	.50	.22	.05
5	.	28.00	.	.50	.40	.10
6	.	68.00	.	.50	.30	.19
7	.	95.20	.	.50	1.27	.32
8	.	172.00	.	.50	1.34	.45
9	.	228.00	.	.50	2.40	.61
10	.	244.00	.	.50	2.56	.69
11	.	244.00	.	.50	2.56	.77
12	.	244.00	.	.50	2.56	.77
13	.	244.00	.	.50	2.56	.77
14	.	244.00	.	.50	2.56	.77
15	.	244.00	.	.50	2.56	.77
16	.	244.00	.	.50	2.56	.77
17	.	244.00	.	.50	2.56	.77
18	.	244.00	.	.50	2.56	.77
19	.	244.00	.	.50	2.56	.77
20	.	244.00	.	.50	2.56	.77

LEGENDA						
A = CONFINAMENTO DE BOVINOS (10 CABEÇAS)						
B = ADUBACAO ORGANICA (TON)						
C = PRODUCAO DE LEITE (10 UNIDADES VAZAS)						
D = PISCICULTURA (HA)						
E = PRODUCAO DE BUDAS (10M**3)						
F = SUCO DE CACAU (10TON)						

Fonte: Resultados do modelo.

conversão de casca em adubo orgânico do biodigestor, sendo ofertada maior quantidade deste ao sistema.

c) Biodigestor - O biodigestor foi acionado, aproveitando a casca de cacau que resultou da colheita de frutos inteiros. No 13º ano a produção de biogás consumiu 256 toneladas de cascas de cacau, embora o sistema pudesse prover até 320 toneladas do insumo, se toda a produção fosse colhida na forma de frutos inteiros. Conclui-se que o biodigestor viabilizou-se na ausência de gado de corte e de leite, portando, apenas quando passa a ser o único fornecedor de adubo orgânico para a piscicultura e cultura do cacau.

d) Suco de cacau - A produção de suco de cacau evoluiu identicamente à rodada 2, até o 11º ano. Na rodada 2, houve uma ampliação da produção de suco, com o uso de polpa crescendo de 7700kg no 11º ano para 8200kg no 12º ano. Na presente rodada, essa ampliação não foi realizada, permanecendo o consumo de polpa em 7700kg.

Neste caso, tem-se como obstáculo à ampliação da produção de suco, além da exigência dos investimentos em infra-estrutura, a exigência de um aumento na colheita de frutos inteiros. Por outro lado, na rodada 2, a colheita de frutos inteiros era definida (paga) pelo nível das atividades de gado de corte, leite e piscicultura, sendo a poupa de cacau um subproduto .

4.7 Rodada 4 - Com novas tecnologias, permitindo-se que a casca do cacau seja usada na adubação da lavoura e fertilização da piscicultura.

4.7.1 - Introdução.

As rodadas até aqui tinham as tecnologias de gado de corte, gado de leite e biodigestor como formas de produzir matéria orgânica para adubação e fertilização de viveiro de peixes. Na presente rodada, permite-se que a própria casca de cacau seja usada na adubação e piscicultura. Assim, verificar-se-ia o quanto a retirada desta vantagem interferiria no comportamento daquelas tecnologias. O valor da função objetivo, nesta rodada, foi de 25.416 ORTN's, praticamente o mesmo nível da rodada 2.

4.7.2 - Nível das tecnologias

A tabela 4.9 traz o nível de adoção das novas tecnologias nesta rodada. Tem-se que:

a) **Gado de corte e de leite** - Diferente da rodada 2, o confinamento não é realizado nos três primeiros anos, mostrando que a produção de esterco foi fundamental para o acionamento desta atividade na rodada 2. Do quarto ano em diante, os níveis da atividade são menores do que naquela rodada. Já o gado de leite apresenta praticamente os mesmos níveis que na rodada 2, exceto pela sua ausência no 1º ano, na presente rodada.

Tabela 4.9 - Nível de adoção das novas tecnologias -
Rodada 4.

TECNOLOGIAS ADOPTADAS						
PERÍODO	A	B	C	D	E	F
1	.	21.25	.	.	.	.01
2	.	.	.	.20	.	.01
3	.	.	.	.40	.	.02
4	.15	2.95	.15	.50	.	.06
5	.56	19.31	.15	.50	.	.10
6	1.45	54.86	.15	.50	.	.19
7	2.52	97.53	.15	.50	.	.32
8	3.76	147.31	.15	.50	.	.46
9	5.01	197.08	.15	.50	.	.61
10	5.54	218.42	.15	.50	.	.59
11	6.07	239.75	.15	.50	.	.77
12	6.07	255.75	.15	.50	.	.92
13	6.07	271.75	.15	.50	.	.92
14	6.07	271.75	.15	.50	.	.92
15	6.07	271.75	.15	.50	.	.92
16	6.07	271.75	.15	.50	.	.92
17	6.07	271.75	.15	.50	.	.92
18	6.07	271.75	.15	.50	.	.92
19	6.07	271.75	.15	.50	.	.92
20	6.07	271.75	.15	.50	.	.92

LEGENDA						
A = CONFINAMENTO DE BOVINOS (10 CABEÇAS)						
B = ADUBAÇÃO ORGÂNICA (TON)						
C = PRODUÇÃO DE LEITE (10 UNIDADES VACAS)						
D = PISCICULTURA (HA)						
E = PRODUÇÃO DE BÍOGAS (10M**3)						
F = SÍCIO DE CACAU (10TON)						

Fonte: Resultados do modelo.

b) **Adubação orgânica** - Os níveis de adubação orgânica são bem maiores, uma vez que, nesta rodada, o adubo orgânico não é só proveniente do gado, onde há perdas na conversão casca/esterco.

c) **Piscicultura** - A Piscicultura teve o mesmo desempenho que na rodada 3.

d) **Biodigestor** - A produção de biogás não é realizada, reforçando a conclusão de sua inviabilidade como produtor de energia. Viabiliza-se somente como produtor de matéria orgânica.

e) **Suco de cacau** - A produção de suco de cacau evoluiu da mesma forma que na rodada 2.

4.7.3 - Outras variáveis.

Assim como na rodada 3, na presente rodada não houve mudança significativa nos valores de outras variáveis do modelo.

4.8 Principais conclusões.

As principais conclusões das 5 rodadas aqui apresentadas são:

a) O alto custo de colheita de cacau inteiro pode inviabilizar todo o conjunto de novas tecnologias aqui testado;

b) as tecnologias de gado de leite e de produção de suco de cacau não assumiram altos níveis de adoção;*

c) a tecnologia de produção de biogás através de casca de cacau mostrou-se não competitiva na presença de pecuária de corte e de leite, ou quando permitiu-se que a adubação fosse realizada diretamente com casca de cacau, uma vez que o biodigestor perde em eficiência econômica na produção de matéria orgânica;

d) A distribuição da renda gerada pelas novas tecnologias fez crescer proporcionalmente mais a massa de salários (em até 40%, quando o sistema se estabiliza) do que o patrimônio líquido do sistema (em torno de 6%).

e) o retorno financeiro das novas tecnologias foi suficiente para suportar taxas de juros não subsidiadas;

f) a presença de novas tecnologias de aproveitamento de sub-produtos em nada alterou a condução da cultura de cacau.

4.9 Recomendações.

A partir das conclusões acima propõe-se o seguinte rol de recomendações:

a) A par do desenvolvimento de novas tecnologias de aproveitamento de subprodutos do cacau, o Centro de Pesquisas do Cacau da CEPLAC deveria estudar métodos de

2 - As conclusões "b" a "f" são válidas apenas considerando-se que o custo de colheita de frutos inteiros possa vir a ser reduzido drasticamente.

colheita e transporte de frutos inteiros para reduzir o custo dessa atividade;

b) o presente modelo, já instalado no computador da CEPLAC, poderá ser usado para testar novos métodos de colheita;

c) novas rodadas poderão ser realizadas por pesquisadores do CEPEC para testar estas tecnologias nos cenários que entenderem convenientes;

d) o presente modelo também poderá ser usado em estudos de impactos de mudanças de variáveis econômicas sobre o sistema de produção. Variáveis tais como preço de cacau, taxa de câmbio, salários, política de crédito rural, etc. poderão ser parametrizadas e seus impactos medidos pelo modelo;

e) A par de um sistema de contabilidade de custos a ser aplicado junto aos cacauicultores, o presente modelo poderá servir como instrumento para o planejamento de propriedades agrícolas.

5. BIBLIOGRAFIA

ABEDIN, M.Z. & CHOWDHURY, M.K. 1985. The design of technologies in farming systems research. Appropriate Technologies. 11 (4): 15-16, mar.

ACKOFF, Russel L. & SASIENSI, M.W. 1968. Fundamental of operations research. New York, John Wiley & Sons, Inc.

AFONSO, F.M.A. 1968. Critérios para estratificação das propriedades cacauzeiras. Ilhéus, CEPLAC.

ALENCAR, M.H. 1970. Aspectos da concentração da produção de cacau e da estrutura fundiária na região cacauzeira do Estado da Bahia. Ilhéus, CEPLAC. (Comunicação Técnica 37).

- ARAÚJO, José Diniz 1980. A consistência da política de produtos agrícolas: o caso do mercado de rações. Brasília, CFP.
- ASMAR, Selem Rachid. 1985. Economia da microrregião cacaueira. Itabuna, Colorgraf.
- AZEVEDO FILHO, A.J.V. & PÉRES, F.C. 1984. Competitividade da cultura da soja em uma empresa da região de campinas, SP. In: CONTINI, E. et al. Planejamento da propriedade agrícola: modelos de decisão. Brasília, EMBRAPA.
- BEDUSCHI, L.C. et al. s.d. Viabilidade econômica do uso de biodigestores. s.L.p., s.C.p.
- BUFFA, Elwood S. 1963. Models for production and operations management. New York, John Wiley & Sons. Inc.
- CACAU. 1985. Informação Semanal Cacex. 20 (974): 2-6.
- CACAU. 1987. Gazeta Mercantil, 13 fev. (Relatório Especial).
- CAMARGO, José Roberto Viana de. 1980. Análise econômica de experimentos de adubação na cultura de algodão. São Paulo, IEA.
- CANXS, R. et al. 1976. Introduccion a la modelacion. Brasília, EMBRAPA.
- CARTWRIGHT, R.W. 1971. Research management in a departament of agricultural economics. West Lafayette, University Purdue. (Ph.D. Thesis).
- CEPLAC. 1975. Cacau: história e evolução no Brasil e no mundo. Ilheus, CEPLAC.
- CEPLAC. 1977. Diretrizes para expansão da cacauicultura nacional: 1976-1985. Brasília, CEPLAC.

CEPLAC. 1986. Programa do Centro de Pesquisa do Cacau. Ilheus, CEPLAC.

CEPLAC/CEPEC. 1985. Aproveitamento integral dos recursos da empresa cacaueira. Ilheus, CEPLAC.

CHIANG, Alpha C. 1982. Matemática para economistas. São Paulo, McGraw-Hill/EDUSP.

CHUNG, An-min. 1963. Linear programming. Columbus, Charles E. Merrill Pub. Co.

CORAL, Fausto J. & BRILHO, R.C. 1984. Sumário do processo produtivo da lavoura cacaueira nas condições do Estado de São Paulo. Campinas, PECASP.

DILLON, John L. 1976. The economics of systems research. Agricultural Systems. (1): 5-21.

DILLON, John L. 1977. Avaliação de tecnologias agrícolas alternativas sob risco. Revista de Economia Rural. 15(2): 17-41.

DILLON, John L. & SCANDIZZO, Pasquale L. 1978. Atitudes dos agricultores nordestinos de subsistência em relação ao risco: abordagem amostral. Revista de Economia Rural. 16(1): 7-25, jan./mar.

DORFMAN, Robert. 1953. Mathematical or linear programming: a non mathematical exposition. The American Economic Review. 63 (5):797-825, dec.

DULLOY, John H. & NORTON, Roger D. 1975. Prices and incomes in linear programming models. American Journal of Agricultural Economics. 57 (4): 591-600, nov.

ELMAGHRABY, S.E. 1966. The design of production system. London, Reinhold and Hall.

FEDER, G et al. 1985. Adoption of agricultural innovation in developing countries: a survey. Economic Development and Cultural Change. 33 (2): 255-98, jan.

FERREIRA, Hilmar I.S. et al. 1983. Renovação de cacauais: Onze anos de observação da Fazenda Unitária do Centro de Pesquisas do Cacau. Ilhéus, CEPLAC. (Boletim Técnico 119).

FERREIRA, H.I.S. et al. 1985. Economia da produção de carne bovina utilizando casca de cacau como insumo: uma abordagem marginal. Ilheus, CEPLAC. (Boletim Técnico nº 127).

FGV-Fundação Getúlio Vargas. 1985. Cacau. Agroanalysis. 9(8): 02-13, ago.

FLEUR, James R. de. 1984. Uma visão econômica sobre os preços e produção de cacau. Ilhéus, CEPLAC. (Boletim técnico 122).

GARCEZ, A.N.R. 1975. História econômica e social da região cacaueira. Rio de Janeiro, UCS/CEPLAC. V.8.

GASS, Saul S. 1969. Programação lineal: métodos y aplicaciones. México, Companhia Editorial Continental.

GASTAL, Edmundo. 1980. Enfoque de sistemas na programação da pesquisa agropecuária. Rio de Janeiro, IICA. (Série Desenvolvimento Institucional nº8).

GEMENTE, Antonio Celso. 1978. Aplicação de um modelo de programação recursiva ao estudo do crescimento da produção agrícola na região de Campinas, Estado de São Paulo: 1970/71 a 1976/77. Piracicaba, ESALQ (Dissertação de Mestrado).

GOODWIN, Joseph B. et al. 1980. Ex-ante appraisal of new technology: sorghum in northeast Brazil. American Journal of Agricultural Economics. 62 (4): 737-41, nov.

GRADVOHL, Marcel P. G. M. 1985. Normas técnicas para criação de tilápias. 3 ed. Ilhéus, CEPLAC.

HAYAMI, Yujiro & RUTTAN, V.W. 1975. Diferenças de Produtividade agrícola entre nações. In: ARAUJO, Paulo F. C. Desenvolvimento da agricultura. São Paulo, Pioneira. p.77-99.

HAYAMI, Yujiro & RUTTAN, V.W. 1975. Preços dos fatores e mudança técnica no desenvolvimento da agricultura: Estados Unidos e Japão, 1880-1960. In: ARAUJO, Paulo F.C. Desenvolvimento da Agricultura. São Paulo, Pioneira p. 53-75.

HILL, Moris. s.d. A goals - achievement matrix for evaluating alternative plans. s.L.p., s.C.p.

JACKSON, Byron. 1983. Decision methods for evaluating R&D projects. Research Management. 26 (4): 16-22, jul./aug.

KANTOROVICH, V. L. 1984. A matemática na economia: realização, dificuldades, perspectivas. Revista Brasileira de Economia. 38 (3): 275-284, jul./set.

KETKAR, S.L. 1973. The impact of new technology on indian agriculture: a programming approach. Nashville, Vanderbilt University. (Ph.D Thesis).

KOOPMANS, Tjalling C. ed. 1976. Activity analysis of production and allocation. 8 ed. New York, John Wiley & Sons. Yale University Press.

LANZER, Edgar Augusto. 1982. Programação linear: conceitos e aplicações. Rio de Janeiro, IPEA/INPES. (Série PNPE 4).

LINS, Everton R. 1983. Um modelo de decisões para avicultura utilizando análise de sistema. São Paulo, IEA.

LLAMOSAS, Alvaro C. et al. 1983. A casca fresca do fruto do cacau como substituto do capim elefante no acabamento de novilhos em confinamento. Revista Theobroma. 13 (2): 119-127.

LLOYD, Alan G. 1958. Agricultural experiments and their economic significance. Agricultural Economics. 26 : 185-209.

LOPES, S.A.F. et al. 1985. Situação atual da utilização de subprodutos de cacau no Brasil. Ilhéus CEPLAC. (Boletim Técnico 133).

MANDARINO, E.P. & SANTOS, U. 1979. Cultivo do cacau para a Bahia e Espírito Santo. 2 ed. Ilhéus, CEPLAC.

McMILLAN, Claude & GONZALEZ, R.F. 1973. System analysis: a computer approach to decision models. 3 ed. Homewood, Richard D. Irwing Inc.

MODER, Joseph J. & ELMAGHRABY, Salah E. 1978. Handbook of operations research: foundations and fundamentals. New York, Van Nostrand Reinhold Company.

MONTEIRO, A. 1985. Avaliação econômica da pesquisa, ensino e extensão agrícola desenvolvidos pela CEPLAC nos Estados da Bahia, e Espírito Santo no período 1957 a 1984: atualização. Revista Theobroma. 15 (4): 195-206.

MONTEIRO, A; NICOLELLA, G. & FERREIRA, H.I.S. 1984. Proposta do Projeto de Aproveitamento Integral de Recursos - PAI. s.L.p, s.C.p.

MOUTINHO, Diva Aparecida et al. 1978. Tomada de decisão sob condições de risco em relação à nova tecnologia para produção do feijão de corda. Revista de Economia Rural. 16 (4): 41-58, out./dez.

NEGRI NETO, Afonso et al. 1981. Experimentos de adubação: avaliação econômica em treze estados do Brasil. São Paulo, IEA.

NENFVILLE, R. & STAFFORD, J.H. 1971. System analysis for engineers and managers. New York, McGraw Hill.

NOGUEIRA, Elisabeth A. 1986. Estudo sobre a viabilidade econômico-financeira da cacauicultura no Estado de São Paulo. São Paulo, FGV. (Dissertação de Mestrado).

NORONHA, José F. 1984. A teoria da produção aplicada a análise econômica de experimentos. In: CONTINI, E. Planejamento da propriedade agrícola: modelos de decisão. Brasília, EMBRAPA.

NORTON, George W. & DAVIS, Jeffrey S. 1981. Evaluating returns to agricultural research: a review. American Journal of Agricultural Economics. 63 (4): 685-699, nov.

OLIVEIRA, A.J. 1984. Um modelo multiperiodico de investimento para o planejamento da propriedade agrícola. In: CONTINI, E. Planejamento da propriedade agrícola: modelos de decisão. Brasília, EMBRAPA.

PAEZ, Gilberto. 1975. Considerações gerais sobre o enfoque de sistema e sua aplicação na pesquisa agropecuária. Brasília, IICA/EMBRAPA. (Material de Ensino nº4).

PAIVA, Ruy Miller. 1979. Modernização agrícola e processo de desenvolvimento econômico: problema dos países em desenvolvimento. In: VEIGA, Alberto Ensaio sobre política agrícola brasileira. São Paulo, Secretaria da Agricultura. p.37-86.

PALMA, V. 1983. Review of evaluation studies on returns to agricultural reserch. In: "Workshop" sobre metodologias de avaliação socio econômica da pesquisa agropecuária. Brasília, EMBRAPA. V. 3.

PÉRES, A.R.P. et al. 1982. Baixa produtividade do milho como consequência da tomada de decisão sob condições de risco na agricultura. Revista de Economia Rural. 20 (4): 587-603, out./dez.

PÉRES, F.C; CRUZ, E.R; PIZYSIEZNIG FILHO, J. 1984. Programação matemática de sistemas agrícolas de bioenergia. In: Experiência brasileira de pesquisa econômica em energia para o setor rural. Brasília, EMBRAPA.

PÉRES, Fernando Curi. 1985. O impacto da análise de sistema na agricultura: os casos da administração e economia rural. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ECONOMIA E SOCIOLOGIA RURAL, 23. São Paulo, 5-9 ago. Anais. São Paulo, SOBER.

PERRIN, Richard K. s.d. Linear programming in rural development research. Raleigh, North Carolina State University/Agricultural Experiment Station. (Paper nº3649).

PERRIN, Richard K. & JOHNSON, T. 1978. Linear programming and optimal control: an introduction to optimizing procedures in economics. North Carolina, Department of Economics and Business. North Carolina State University, Raleigh. (Economics Information Report nº54).

PHILLIPS, D. et al. 1976. Operations research: principles and practice. New York, John Wiley & Sons.

PINHEIRO, F.A. 1976. Análise econômica em experimentação agrícola. Botucatu, Faculdade de Ciências Médicas e Biológicas.

PLANT, R.E. et al. s.d. Multiseasonal management of an agricultural pest II: The economic optimization problem. California, University of California.

RAMALHO, H.D. 1977. Escassez de mão de obra na região cacaueteira da Bahia: fatores condicionantes. Ilhéus, CEPLAC. (Boletim Técnico 77).

RIVETT, P. 1972. Principles of model building. New York, John Wiley & Sons, Inc.

RODRIGUEZ, Luiz Carlos E. 1987. Planejamento agropecuário através de um modelo de programação linear não determinista. Piracicaba, ESALQ/USP. (Dissertação de Mestrado).

* RUSSEL, D.G. 1975. Resources allocations in agricultural reserch using socio economic evaluations and mathematical models. Canadian Journal Agricultural Economics. 23 (2): 29-52, jul.

RUSSEL, R.R. 1985. Measures of technical efficiency. Journal of Economic theory. 35 (1): 109-26, jan.

SÃO PAULO. GOVERNO DO ESTADO. SECRETARIA DA AGRICULTURA. 1978. Plano de expansão da cacauicultura em São Paulo. São Paulo, CATI.

SÃO PAULO. INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. 1985. Reflexos do aumento de produtividade do sistema cana-etanol no custo de produção do álcool e no preço final do produto. São Paulo, IPT. (Relatório de Pesquisa).

SHUH, G.E. & TOLLINI, H. 1983. Costs and benefits of agricultural research: state of the art and implications for the CGIAR. In: "Workshop" sobre metodologias de avaliação socio-econômica da pesquisa agropecuária. Brasília, EMBRAPA. V.2.

SCOBIE, Grant M. 1983. Economics research at the Ruakura Agricultural Research Centre inssues and strategy. Hamilton, Ruakura Agricultural Research Centre.

SENGUPTA, J. & FOX, K.A. 1969. Economic analyses and operations reserch: optimization techniques in quantitative economic models. Amsterdan, North-Holland Pub.

SHEPHERD, G.S. 1975. Marketing farm products: economic analysis. New York, Ames.

SHUMWAY, C.R. & CHANG, A.A. 1977. Linear programming versus positively estimated supply functions: An empirical and methodological critique. American Journal of Agricultural Economics. 59 (2): 344-356, may.

SHUMWAY, C.R. & McCracken, R.J. 1975. Use of scoring models in evaluating research program. American Journal of Agricultural Economics. 57 (4): 714-718, nov.

SIMONNARD, Michel. 1966. Linear programming. Englewood Cliffs, Prentice Hall.

SPREEN, Thomas H. & TAKAYAMA, Takashi. 1980. A theoretical note on aggregation of linear programming models of production. American Journal of Agricultural Economics. 62 (1): 146-151, feb.

SUGAI, Yoshihiko. 1974. A cota system policy and its impact on the labor market in the sugar cane industry: analyses through dynamic linear programming procedures. Ames, Iowa State University. (Ph.D. Tesis).

TAFANI, Ricardo R. 1976. Avaliação econômica da introdução de novas tecnologias na cultura do cacau no Brasil. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa. (Dissertação de Mestrado).

TOMLINSON, Rolfe. 1981. Some dangerous misconceptions concerning operational research and applied systems analysis. European Journal of Operational Research. 7 (2): 203-212.

TORCHELLI, Juan Carlos. 1983. Interação pesquisador-produtor: um enfoque inovador na pesquisa agropecuária. Revista de Economia Rural. 21 (4): 547-560, out./dez.

TREVISAN, S.D.P. 1980. Aspectos socio-econômicos da mão de obra na cacauicultura baiana. Ilhéus, CEPLAC. (Boletim Técnico 77).

TREVISAN, S.D.P. & MONTEIRO, A. 1983. Distribuição da terra e a questão da estrutura socio-econômica na região cacauífera da Bahia. Revista Theobroma. 13 (4): 283-292, out./dez.

TREVISAN, Salvador D.P. & FERREIRA, Janett L.R.F. 1983. Características habitacionais da população residente no meio rural da região cacauífera da Bahia. Ilhéus, CEPLAC. (Boletim Técnico 120).

VERA FILHO, Francisco & TOLLINI, Helio. 1979. Progresso tecnológico e desenvolvimento agrícola. In: VEIGA, Alberto. Ensaio sobre política agrícola brasileira. São Paulo, Secretaria da Agricultura. p.87-136.

VERGARA, Júlio R. A. et al. 1980. Aspectos da distribuição e área de cacau no Estado da Bahia. Ilhéus, CEPLAC.

WAGNER, W.M. 1975. Principles of operations research. 2 ed. New York, Prentice-Hall.

WEITZMAN, Martin. 1967. On choosing an optimal technology. Management Science. 13 (5): 413-428. jan.

WICKS, John A. & GUISE, John W. B. 1978. An alternative solution to linear programming problems with stochastic input-output coefficients. Australian Journal of Agricultural Economics. 22 (1): 22-40. apr.

WILLIAMS, H.P. 1978. Model building in mathematical programming. New York, John Wiley & Sons, Inc.

WU, Yuan-li & KWANG, Ching Wen. 1960. An analytical and graphical comparison of marginal analysis and mathematical programming in the theory of the firm. In: BOULDING, K. & SPIVEY, W. A. Linear programming and the theory of the firm. New York, The McMillan Company. Cap. 4.

YASSOUR, et al. 1981. Optimal choices among alternative technologies with stochastic yield. American Journal of Agricultural Economics. 63 (4): 718-723, nov.

APÊNDICE 1

A1. ANÁLISE ECONÔMICA E PROGRAMAÇÃO MATEMÁTICA

A1.1 Função de produção

A análise do comportamento econômico das firmas através da teoria neoclássica parte do conceito de função de produção, definida como a relação física entre as quantidades utilizadas de certo conjunto de insumos e as quantidades físicas máximas que se pode obter de um determinado produto. Em termos matemáticos, esta relação pode ser escrita como:

$$q = f(x_i) \quad (i = 1, \dots, n); \quad (A1)$$

onde q é a quantidade produzida e x_i é a quantidade de cada fator de produção i . Presupõe-se, ainda, que (A1) seja concava para pelo menos uma região dos valores positivos dos insumos, contínua e derivável, no mínimo até a 2ª ordem.

Os níveis de insumo e produto são fluxos por unidade de tempo. O nível de alguns insumos não pode ser alterado no período de tempo para a qual são definidos estes fluxos; tais insumos são

denominados de insumos fixos, enquanto os restantes são insumos variáveis. Levando isto em consideração a formulação de (A1) seria:

$$q = f(x_1 | x_k) \quad \begin{array}{l} (i = 1, \dots, s) \\ (k = s+1, \dots, n); \end{array} \quad (A2)$$

mostrando que f é uma função de s insumos variáveis sujeito ao nível dos $(n-s)$ insumos fixos.

A1.2 Isoquantas

A projeção dos diferentes níveis de produção no plano dos insumos produz um mapa de isoquantas. Uma isoquanta é o lugar geométrico definido por todas as combinações de insumos que proporcionam um dado nível de produção. Num plano bidimensional de insumos variáveis (x_1 e x_2), temos, conforme a figura A1.1, um mapa de isoquantas. As isoquantas I_1 , I_2 , I_3 definem níveis de produção cada vez mais altos.

Figura A1.1 - Mapa de isoquantas de uma função de produção

A1.3 Função de produção implícita para m insumos e n produtos

O conceito de função de produção pode ser expandido para abarcar a produção de mais de um produto. A mesma passa então a ser escrita como uma função implícita:

$$F(q_1, \dots, q_n, x_1, \dots, x_m) = 0; \quad (A3)$$

relacionando os processos produtivos de n produtos através de m insumos.

A1.4 Curvas de transformação de produto

A projeção desta função num plano bidimensional de 2 produtos produz uma família de curvas denominadas curvas de transformação. Conforme a figura A1.2 as curvas de T_1 , T_2 , T_3 indicam, cada uma, constantes níveis de insumos que permitem produzir diversas combinações dos produtos q_1 e q_2 .

Figura A1.2 - Curvas de transformação de uma função de produção.

A inclinação das curvas de transformação determin a taxa de perda (ganhos) na produção de q_2 quando cresce (decresce) a produção de q_1 , mantendo constante o nível dos insumos.

A1.5 Programação matemática

Segundo Dorfman (1953), "a tradicional análise marginalista tem levado a conclusões de grande importância para a compreensão de muitas questões econômicas e sociais. Mas, é um fato que esse modo de análise não é recomendado para o uso dos empresários para a solução a nível prático de seus problemas econômicos ou comerciais. A programação matemática, por outro lado, é um eficiente instrumento para a tomada de decisão do empresário".

A1.6 Processo ou atividade

Nos modelos de programação matemática, o conceito fundamental é a atividade ou processo. Um processo pode ser definido como um método específico para realizar-se uma tarefa econômica. Num processo, os insumos são aplicados em proporções fixas. O processo é, então, totalmente descrito por um vetor de coeficientes técnicos a_i ($i = 1, \dots, m$), que dão a quantidade de cada insumo i necessária para produzir uma unidade de produto. A produção máxima possível é dada por:

$$q = \min_i \left(\frac{b_i}{a_i} \right), \quad a_i > 0; \quad (A4)$$

sendo b_i a disponibilidade máxima do insumo i . Um processo tem sempre retorno constante à escala. Multiplicando-se o nível

b_i de cada insumo por uma constante K , o produto também será K vezes o nível anterior.

A1.7 Representação gráfica de um processo

O raio OA na figura A1.3 é a representação geométrica de um processo para a produção de um determinado produto q , através de dois insumos (x_1 e x_2), com os coeficientes técnicos a_1 e a_2 . A inclinação do raio OA é dada por a_2/a_1 .

Figura A1.3 - Representação geométrica de um processo, composto dos insumos x_1 e x_2 , com o comprimento d representando uma unidade de produção.

A representação de uma unidade do produto sobre o raio OA se-

rá dada por um segmento de comprimento

$$d = \sqrt{a_1^2 + a_2^2} ; \quad (A5)$$

A1.8 - Combinação de processos

Contudo, o mesmo produto q pode ser produzido por mais de um processo, através dos mesmos insumos. Na figura A1.4, são representados três processos dados pelos raios OA_1 , OA_2 e OA_3 .

Figura A1.4 - Representação geométrica de três processos OA_1 , OA_2 e OA_3 , formando um trecho de isoquantas LMN .

Os pontos L, M e N, em cada um dos processos respectivamente, marcam a produção de uma mesma quantidade q' . As coordenadas destes pontos são respectivamente (x_{1L}, x_{2L}) , (x_{1M}, x_{2M}) e (x_{1N}, x_{2N}) . Nos pontos L e M a quantidade q' será dada por:

$$q' = \frac{x_{1L}}{a_{11}} \quad \text{ou} \quad q' = \frac{x_{1M}}{a_{12}} \quad \text{ou ainda,} \quad (A6)$$

$$q' = \frac{x_{2L}}{a_{21}} \quad \text{ou} \quad q' = \frac{x_{2M}}{a_{22}}$$

O conjunto de todas as combinações lineares, convexas dos vetores L e M gera o segmento $\overline{LM}$; as coordenadas de, um ponto qualquer P neste segmento são dadas por:

$$\{ [\lambda x_{1L} + (1-\lambda) x_{1M}], [\lambda x_{2L} + (1-\lambda) x_{2M}] \}, \text{ com } 0 \leq \lambda \leq 1.$$

A1.9 Combinação de processos e isoquantas

Aplicando as quantidades λx_{1L} e λx_{2L} no processo 1 e $(1-\lambda)x_{1M}$ e $(1-\lambda)x_{2M}$ no processo 2, temos que a quantidade produzida no processo 1 será

$$q'_1 = \lambda \frac{x_{1L}}{a_{11}} \quad (A7)$$

e no processo 2

$$q'_2 = (1-\lambda) \frac{x_{1M}}{a_{12}} \quad (A8)$$

de (A6) temos que

$$q'_1 = \lambda q' \quad \text{e} \quad q'_2 = (1-\lambda) q' \quad (A9)$$

A soma das quantidades produzidas será

$$q'_1 + q'_2 = \lambda q' + (1-\lambda) q' = q' \quad (A10)$$

Portanto, pode-se obter infinitas combinações convexas do processo 1 e 2 que gerem o mesmo nível de produto q' . O segmento $\overline{LM}$ define então o lugar geométrico da combinação dos insumos x_1 e x_2 que, através dos processos 1 e 2 geram o mesmo nível de produção q' ; $\overline{LM}$ nada mais é do que um trecho de isoquanta, assim como $\overline{MN}$ e $\overline{LN}$. Contudo, $\overline{LN}$ (combinação dos processos 1 e 3), define no ponto R o mesmo nível de produção que o ponto M no processo 2, sendo que em M utiliza-se menor quantidade de insumos. Portanto, combinações dos processos 1 e 3 são sempre mais ineficientes do que qualquer combinação dos processos 1 e 2 ou 2 e 3. Assim, verifica-se que as isoquantas relevantes formam uma poligonal convexa. Fica, ainda evidente, que, a medida em que se aumentar o número de processos, ter-se-á uma aproximação do mapa de isoquantas da figura A1.1.

A1.10 Rompendo a restrição de proporções fixas

A combinação convexa de processos permite, então, romper com a restrição de que a produção em uma função como em (A4) dar-se-á apenas com proporções fixas de insumos. Com efeito, se para o caso do processo 1 tem-se a proporção dos insumos dada por a_{21}/a_{11} e para o processo 2, a_{22}/a_{12} ; para o composto por 1 e 2 a proporção dos insumos é

$\{\lambda a_{21} + (1-\lambda)a_{22}\} / \{\lambda a_{11} + (1-\lambda)a_{12}\}$ ⁽¹⁾, mostrando que a proporção de insumos deste processo é variável com o parâmetro λ .

A taxa (marginal) de substituição técnica entre os insumos x_2 e x_1 é o valor absoluto da inclinação do segmento LM que será dada por: ⁽²⁾

$$\left| \frac{dx_2}{dx_1} \right| = \frac{a_{21} - a_{22}}{a_{12} - a_{11}} \quad (A11)$$

⁽¹⁾ Chamado de α_1 e α_2 os coeficientes técnicos do processo composto 1 e 2, têm-se que:

$$q' = \min \left(\frac{\lambda x_{1L} + (1-\lambda)x_{1M}}{\alpha_1}, \frac{\lambda x_{2L} + (1-\lambda)x_{2M}}{\alpha_2} \right)$$

$$\alpha_1 = \frac{\lambda x_{1L}}{q'} + \frac{(1-\lambda)x_{1M}}{q'}, \quad \alpha_2 = \frac{\lambda x_{2L}}{q'} + \frac{(1-\lambda)x_{2M}}{q'}$$

De (A6) temos que

$$\alpha_1 = \frac{\lambda x_{1L}}{\frac{x_{1L}}{a_{11}}} + \frac{(1-\lambda)x_{1M}}{\frac{x_{1M}}{a_{12}}}; \quad \alpha_2 = \frac{\lambda x_{2L}}{\frac{x_{2L}}{a_{21}}} + \frac{(1-\lambda)x_{2M}}{\frac{x_{2M}}{a_{22}}};$$

então:

$$\alpha_1 = \lambda a_{11} + (1-\lambda)a_{12}, \quad \alpha_2 = \lambda a_{21} + (1-\lambda)a_{22}$$

$$(2) \quad \left| \frac{dx_2}{dx_1} \right| = \frac{x_{2L} - x_{2M}}{x_{1M} - x_{1L}}$$

Como

$$\begin{aligned} x_{2L} &= a_{21}q' \\ x_{2M} &= a_{22}q' \\ x_{1L} &= a_{11}q' \\ x_{1M} &= a_{12}q' \end{aligned}$$

então:

$$\frac{dx_2}{dx_1} = \frac{a_{21} - a_{22}}{a_{12} - a_{11}}$$

A1.11 Combinação de processos e curvas de transformação

Pode-se ampliar o número de processos para, agora, incorporar mais de um produto: Basta definir s_j ($j = 1, \dots, n$) processos para cada produto j . Definindo-se dois processos que produzem, cada um, um produto diferente q_1 e q_2 a partir de três insumos, têm-se então:

$$q_1 = \min \left(\frac{b_1}{a_{11}}, \frac{b_2}{a_{21}}, \frac{b_3}{a_{31}} \right) \quad (A12)$$

$$q_2 = \min \left(\frac{b_1}{a_{12}}, \frac{b_2}{a_{22}}, \frac{b_3}{a_{32}} \right)$$

Fixando os níveis de cada insumo, nas quantidades b_1 , b_2 e b_3 , a produção de q_1 e q_2 estará sujeita ao seguinte conjunto de inequações.

$$a_{11} q_1 + a_{12} q_2 \leq b_1;$$

$$a_{21} q_1 + a_{22} q_2 \leq b_2; \quad (A13)$$

$$a_{31} q_1 + a_{32} q_2 \leq b_3.$$

Estas restrições estão representadas na figura A1.5 num plano bi-dimensional dos produtos

Figura A1.5 - Representação de restrições lineares para níveis fixos de insumos b_1 , b_2 e b_3

A poligonal delimitada pelos pontos A, B, C e D define as máximas combinações que podem ser produzidas de q_1 e q_2 sem ferir nenhuma das restrições de (A13); ou seja, sem se mudar o estoque de insumos. Dessa forma, a poligonal acima descrita é uma aproximação da curva de transformação apresentada na figura A1.2.

A1.12 Rompendo a restrição de retornos constantes à escala

A existência de retornos constantes a escala, implícita no conceito de processo, pode também ser superada

através de combinações de processos que tenham uma escala máxima e/ou mínima em que podem ser ativados. Esta abordagem, introduzida por C.E. MILLER em 1963, é denominada "programação separável (PHILLIPS et alii, 1976). Permite-se, com isto, a aproximação de funções com retornos crescentes ou decrescentes à escala.

A1.13 Análise econômica

Até aqui discutiu-se a compatibilidade dos modelos de programação matemática à tradicional função de produção. A teoria econômica parte de algumas pressuposições sobre o comportamento do empresário; em geral, assume-se que este procura maximizar os seus lucros. O problema do empresário, então, seria encontrar a combinação (processo) de insumos e produtos que otimize o nível de seus lucros. Em geral, este é um problema de maximização condicionada a inúmeros fatores, tais como, um limite de despesas, e/ou um limite superior ou inferior de produção de algum produto e/ou um limite superior ou inferior de utilização de um ou mais insumos, etc.

Uma formulação genérica para estes problemas poderia ser dada por:

$$\text{Max } \pi = \pi(p, q, x)$$

sujeito a

$$f(q, x) = 0$$

(A14)

$$g_i(p, q, x) \geq b_i; \quad i = (1, \dots, m);$$

onde; p, q e x são respectivamente, vetores de preços, nível de produção e nível de insumos; π é uma função de lucros, f é a

função de produção, e os g_i são funções delimitadas por constantes b_i .

Uma formulação linear para o problema seria, então, dada por

$$\text{Max } \pi = \sum_{j=1}^n c_j q_j \quad (\text{A15})$$

sujeito a

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} q_j \begin{matrix} \geq \\ \leq \end{matrix} b_i \quad (i = 1, \dots, m)$$

onde c_j é a contribuição dada ao lucro pela "atividade" de produzir q_j , e a_{ij} é um coeficiente técnico ligado a restrição i na "atividade" j (a_{ij} pode ser um coeficiente técnico como definido em (A4), como também pode ser um custo unitário de produção).

A formulação de (A15) numa forma matricial canônica é dada por:

$$\text{Max } \pi = cq$$

sujeito a

$$Aq \begin{matrix} \geq \\ \leq \end{matrix} b; \quad (\text{A16})$$

e

$$q \geq 0$$

onde:

c = vetor linha contendo os c_j ;

q = vetor coluna contendo os q_j ;

A = matriz $m \times n$ de coeficiente a_{ij} ;

b = vetor coluna com os elementos b_i .

$(i=1, \dots, m)$ e $(j=1, \dots, n)$

A última inequação explicita a restrição de que as soluções do problema devem ser não-negativas. Temos então uma formulação típica de programação linear, onde cada coluna da matriz A é um processo ou atividade como descrito em (A4).

A programação matemática foi originalmente concebida para a solução de problemas operacionais e de planejamento, contudo, como visto, pode tornar-se, também, um instrumento de análise econômica ⁽³⁾.

⁽³⁾ O interesse deste trabalho está mais ligado à teoria microeconômica; contudo, em macro-economia, é consagrada a aplicação dos modelos de insumo—produto, desenvolvidos por W.W. Leontief, que podem ser enquadrados dentre os modelos de programação matemática.

APÉNDICE 2

A2. SOLUÇÃO DE PROBLEMA DE PROGRAMAÇÃO LINEAR: MÉTODO SIMPLEX REVISADO

A2.1 Formulação Standart

Da formulação (A16) pode se tomar α_i como uma das m linhas de A . Cada inequação

$$\alpha_i q \geq b_i \quad (A17)$$

ou

$$\alpha_i q \leq b_i \quad (A18)$$

pode ser substituída por uma equação

$$\alpha_i q - q_i^e = b_i \quad (A19)$$

ou

$$\alpha_i q + q_i^e = b_i \quad (A20)$$

$$q_i^e \geq 0;$$

obtida pela subtração ou adição de uma variável q_i^e , não negativa, denominada de variável folga, a qual deverá ter um coeficiente c_j nulo na função π a ser maximizada, e coeficientes a_{ij} nulos exceto na linha correspondente à restrição em que q_i^e deva atuar, onde o coeficiente tem de ser unitário (± 1).

Esta operação transforma, então, a formulação (A16) para uma formulação denominada de Standard, dada por:

$$\text{Maximizar } \pi = c \cdot q$$

sujeito a

$$Aq = b \quad (A21)$$

$$q \geq 0$$

onde, agora, $A = (a_1, a_2, \dots, a_n)$,⁽⁴⁾ é uma matriz $m \times n$ com $m < n$. Pressupõe-se, então, que o posto de A seja

$$r(A) = m \quad (A22)$$

A2.2 Definição de uma base

Uma base para o problema (A21) é um conjunto de m vetores a_s , linearmente independentes. Uma base B é, portanto, uma submatriz regular de A . A matriz complemento de B em A , denominada de matriz residual R , a qual contém os vetores não básicos e, portanto, possui dimensões $m \times (n - m)$.

(4) n , é tratado em todo o texto como número total de colunas, neste caso, incluindo, também, as variáveis folga.

As m variáveis associadas com as colunas de uma base B são chamadas de variáveis básicas; elas formam o subvetor q^B do vetor q . As outras variáveis são chamadas de secundárias ou residuais e constituem o subvetor q^R , complementar a q^B em q .

O vetor c pode ser, então, partido nos vetores c^B e c^R correspondentes às variáveis básicas e residuais, respectivamente.

A2.3 Solução básica e base viável

O sistema (A21) passa então a ser representado por:

$$\text{Maximizar } \pi = c^B q^B + c^R q^R$$

sujeito a:

$$Bq^B + Rq^R = b \quad (\text{A23})$$

$$q^B \geq 0, \quad q^R = 0.$$

Pré-multiplicando (A23) por B^{-1} , tem-se que

$$q^B + B^{-1} Rq^R = B^{-1} b \quad (\text{A24})$$

$$q^B \geq 0, \quad q^R = 0$$

O sistema (A24) é denominado de sistema explícito. Se B é uma base, e a restrição de não-negatividade de q^B é respeitada, então, B é denominada de "base viável". Suprimindo do sistema (A23) as variáveis secundárias, obtem-se um sistema crameriano

$$Bq^B = b, \quad (\text{A25})$$

o qual possui uma única solução, denominada de solução básica, dada por:

$$\bar{q}^B = B^{-1} b. \quad (A26)$$

O valor da função objetivo será, então

$$\bar{\pi} = c^B \cdot \bar{q}^B \quad (A27)$$

A2.4 Número de soluções do sistema Standart

O número máximo de soluções diferentes de (A21) é dado pelo número máximo de bases diferentes que se pode formar a partir de A. Este número é dado por:

$$C_n^m = \frac{n!}{(n-m)! m!} \quad (A28)$$

Embora entre estas haja um bom número de submatrizes não regulares e de bases que não são "viáveis", ainda assim, é muito grande o número de bases viáveis a serem pesquisadas até encontrar-se aquela cuja solução básica conduz ao maior valor da função objetivo.

A2.5 Sinopse do método Simplex

O método Simplex, criado por G.B. Dantzig, na década de 40, é um procedimento iterativo que permite direcionar a pesquisa de soluções básicas. A aplicação do método requer a identificação de uma base inicial viável de "partida", pois desta é obtida, a cada interação, uma nova base viável pela substituição de vetores da base por outros vetores fora da base. Os crité-

rios estabelecidos pelo método para esta substituição (denominada de prancing), levarão à construção de bases que tendem a melhorar o valor da função objetivo, até que o ótimo seja atingido. O método define ainda condições para estabelecer se uma solução é ou não ótima, ou se o conjunto de soluções do problema é vazio ou infinito.

"A experiência computacional tem mostrado que, em problemas usuais de dimensão $m \times n$, a base ótima é atingida após algo em torno de m interações, consideravelmente menor que C_n^m " (SIMONNARD, 1966).

A2.6 Formulação acrescida (5)

O método Simplex Revisado, devido a G.B. Dantzig e W. Orchard-Hayes, desenvolvido na década de 50, permite a solução de problemas de grande porte com economia no número de cálculos necessários. Para tanto, à Matriz A de (A21) deve ser acrescida da forma linear π da função objetivo, transformada da seguinte forma:

$$\pi - cq = 0. \quad (A29)$$

Produz-se, então, uma matriz $\tilde{A}$ "acrescida" com uma linha de índice zero composta pelos coeficientes de (A29). Tem-se, então:

(5) No inglês: Adjoined

$$\bar{A} = \begin{bmatrix} 1 & -c \\ 0 & A \end{bmatrix} = (\bar{a}_1, \bar{a}_2, \dots, \bar{a}_n), \quad (A30)$$

$$\bar{b} = \begin{pmatrix} 0 \\ b_1 \\ b_2 \\ \vdots \\ b_m \end{pmatrix} \quad (A31)$$

$$\bar{q} = \begin{pmatrix} \pi \\ q_1 \\ q_2 \\ \vdots \\ q_n \end{pmatrix} \quad (A32)$$

cada base do sistema dada por

$$\bar{B} = \begin{bmatrix} 1 & -c^B \\ 0 & B \end{bmatrix}; \quad (A33)$$

e uma matriz residual

$$\bar{R} = \begin{pmatrix} -c^R \\ R \end{pmatrix}. \quad (A34)$$

Tem-se, então:

$$\begin{aligned} \bar{A} \bar{q} &= \bar{b} \\ \bar{q} &\geq 0 \end{aligned} \quad (A35)$$

ou

$$(\bar{B}, \bar{R}) \begin{pmatrix} \bar{q}^B \\ q^R \end{pmatrix} = \bar{b} \quad (A36)$$

A inversa de $\bar{B}$ é dada por

$$\bar{B}^{-1} = \begin{bmatrix} 1 & c^B B^{-1} \\ 0 & B^{-1} \end{bmatrix}. \quad (A37)$$

A2.7 Obtenção do sistema explícito acrescido.

Uma operação semelhante à passagem de (A23) para (A24) é pré-multiplicar (A36) por $\hat{B}^{-1}$, tomando ainda $\hat{B}^{-1} \hat{R} = \hat{Y}$.

Assim:

$$(I, \hat{Y}) \begin{pmatrix} \hat{q}^B \\ q^R \end{pmatrix} = \hat{B}^{-1} \hat{b} = \hat{\bar{q}}^B. \quad (A38)$$

Dessa forma, $\hat{\bar{q}}^B$ é o vetor solução para a base $\hat{B}$. A matriz $\hat{Y}$ é composta de vetores coluna $\hat{Y}_j$, cujo elemento típico é y_{sj} com ($s = 1, \dots, m$) e ($j = m+1, \dots, n$).

O sistema (A38) fornece então na linha zero a seguinte equação:

$$\pi + \sum_{j=m+1}^n y_{0j} q_j^R = \bar{\pi}; \quad (A39)$$

onde os elementos y_{0j} são obtidos pela multiplicação da primeira linha de $\hat{B}^{-1}$ por cada coluna de R .

Para as restantes m linhas tem-se então

$$q_s^B + \sum_{j=m+1}^n y_{sj} q_j^R = \bar{q}_s, \quad (s=1, \dots, m). \quad (A40)$$

Portanto, o sistema (A38) como em (A24), é um sistema explícito, pois nele, as variáveis básicas são expressas parametricamente como função das variáveis residuais.

No método Simplex, o tratamento de problemas de minimização exige pequenas modificações em relação aos problemas de maximização. No caso, se o objetivo é maximizar π , deve-se procurar uma nova base $\hat{B}'$, obtida pela substituição de um vetor $\hat{a}_h$ de $\hat{B}$ por um vetor a_k de $\hat{R}$, de forma a obter-se um

novo valor $\bar{\pi}' > \bar{\pi}$. A equação (A39) do sistema explícito será usada para identificar a variável q_k^R . Aquela equação pode ser transformada para:

$$\bar{\pi}' = \bar{\pi} - y_{ok} q_k^R \quad (A41)$$

A2.8 Condição identificadora da base ótima

Se todos os y_{oj} forem positivos, então, por (A41) $\bar{\pi}'$ não poderá ser maior que $\bar{\pi}$ se algum q_j^R assumir valores positivos e, portanto, o máximo já foi atingido em $\bar{\pi}$.

A2.9 Critério de entrada de uma variável na base

Se houver y_{oj} negativos, o método simplex tem como "critério de entrada" a escolha dentre estes, do vetor com maior valor absoluto y_{oj} , isto, por (A41), tenderá a elevar o valor π' .

Resta, então determinar qual o valor a ser atribuído a q_k^R e o vetor $\hat{a}_h$ a ser retirado (zerado) da base atual B. De (A40) tem-se que o novo valor $\bar{q}'_s$ de cada variável q_s será dado por:

$$\bar{q}'_s = \bar{q}_s - y_{sk} q_k^R \quad (A42)$$

A2.10 Condição identificadora de solução infinita

As restrições de não negatividade em (A16) exigem que $\bar{q}'_s > 0$. Se todos os y_{sk} forem não-positivos para algum k ,

isto implicará, por (A42), em que q_k poderá atingir qualquer valor positivo sem violar nenhuma das m restrições. Se, ainda, c_k for positivo, então o problema não terá um máximo finito. Portanto, para o problema ter solução finita, é preciso que pelo menos um y_{sk} para cada k seja positivo.

A2.11 Critério de saída de uma variável da base

Admitindo que haja solução finita, para que as restrições de não negatividade sejam respeitadas, então

$$\bar{q}_k^R \leq \frac{\bar{q}_s}{y_{sk}} \quad y_{sk} > 0 \quad (s = 1, \dots, m) \quad (A43)$$

$$(s = 1, \dots, m)$$

Para que (A43) seja verdade para todo s , o máximo valor de $\bar{q}_k^R$ será dado por

$$\bar{q}_k^R < \min_s \left[\frac{\bar{q}_s}{y_{sk}} ; y_{sk} > 0 \right] \quad (A44)$$

Para zerar uma das variáveis q_h da base atual, basta, então, que:

$$\bar{q}_k^R = \frac{\bar{q}_h}{y_{ek}} = \min_s \left[\frac{\bar{q}_s}{y_{sk}} ; y_{sk} > 0 \right]; \quad (A45)$$

o que assegura, por (A42) que q_h se anulará.

Portanto, o método simplex define que a variável q_s a sair da base (critério de saída) será a que apresentar menor razão $\frac{q_s}{y_{sk}}$ para $y_{sk} > 0$ ⁽⁶⁾, onde k é o índice da variável a entrar na base.

A2.12 Considerações adicionais

A solução básica para a nova base $\hat{B}'$, será então dada por

$$\hat{q}' = \hat{B}'^{-1} \hat{b} \quad (A46)$$

O Método Simplex prossegue pela sucessiva substituição de vetores e obtenção de novas bases, até que todos os valores y_{oj} sejam não negativos, pois neste caso, o máximo foi atingido.

A que se notar, no Método Simplex Revisado, apenas cálculos assenciais precisam ser realizados. Assim, para o "critério de entrada", necessita-se apenas conhecer os valores dos y_{oj} da matriz Y , os quais são obtidos pela multiplicação da primeira linha de $\hat{B}^{-1}$ pela matriz $\hat{R}$ ou seja

$$\begin{bmatrix} 1 & c^B \hat{B}^{-1} \end{bmatrix} \hat{R} = (y_{oj}) \quad (A47)$$

(6) se houver empate, o método propõe arbitrar-se a escolha entre os empatantes.

Por outro lado, após a escolha do vetor $\hat{a}_k$, a entrar na base, é necessário conhecer-se apenas os valores y_{sk} para serem aplicados em (A45). Tais valores são obtidos por:

$$\hat{B}^{-1} a_k = \gamma_k \quad (A48)$$

Ou seja, não é preciso obter-se toda a matriz $\hat{Y}$, mas apenas sua primeira linha e sua k ésima coluna.

O grande esforço computacional do método está, sem dúvida, no cálculo de $\hat{B}^{-1}$. Para tanto, os programas comerciais de computador para resolução de problemas de grande porte usam métodos de cálculo aproximado de B^{-1} , como o da "inversa na forma produto". A imprecisão dos cálculos é, então, sanada, pelo cálculo de $\hat{B}^{-1}$ de forma exata após um número limitado de interações e, também, na última interação.

APÉNDICE 3

A3. INTERPRETAÇÕES ECONÔMICAS SOBRE A MATRIZ $\hat{Y}$ DO MÉTODO SIMPLEX

A3.1 Taxa marginal de substituição

Da relação (A42) pode se obter

$$\frac{dq_s}{dq_k^R} = -y_{sk}; \quad (A49)$$

ou seja, se q_k^R cresce em uma unidade, q_s será reduzida em y_{sk} unidades. Portanto, y_{sk} é a taxa marginal de substituição da atividade a_s pela atividade a_k .

A3.2 Decomposição do efeito da entrada de uma variável na base.

O decréscimo no nível de cada variável básica q_s pela quantidade y_{sk} , quando q_k^R cresce em uma unidade, irá acarretar uma redução em π dada por

$$z_k = \sum_{s=1}^m c_s y_{sk}. \quad (A50)$$

A variação total em π ($\Delta_k \pi$) é igual a soma da variação devida ao acréscimo de uma unidade de q_k^R , ou seja: c_k , menos a redução pelo decréscimo no valor das variáveis básicas z_k . Desta forma,

$$\Delta_k \pi = c_k - z_k \quad (A51)$$

A3.3 O papel dos y_{oj}

A expressão (A47) que produz os y_{oj} pode ser deseenvolvida, lembrando de (A34), da seguinte forma:

$$\begin{bmatrix} 1 & c^B & B^{-1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -c^R \\ R \end{bmatrix} = -c^R + c^B B^{-1} R \quad (A52)$$

Lembrando que $B^{-1} R = Y$: cada elemento y_{ok} de (A52) será dado por:

$$y_{ok} = -c_k + c^B \gamma_k \quad (A53)$$

ou

$$y_{ok} = -c_k + \sum_{s=1}^m c_s y_{sk}; \quad (A54)$$

que, lembrando de (A51), resulta em

$$y_{ok} = -c_k + z_k; \quad (A55)$$

então, por (A51)

$$y_{ok} = -\Delta_k \pi \quad (A56)$$

O que está consistente com a expressão (A41), onde y_{ok} é a variação em π dada pela variação unitária em uma variável residual q_k^R . Portanto, novamente, se os y_{oj} forem todos positivos, todos os $\Delta_k \pi$ serão negativos, o que vale dizer, que não é mais possível dar acréscimo a π por introduzir variáveis na base, pois a base atual é ótima.

A3.4 O papel dos y_{oj} das variáveis folga.

É fundamental, também, compreender o significado dos y_{oj} quando q_j for uma variável folga introduzida em (A19) e (A20).

Quando o máximo é atingido, todos os y_{oj} são positivos, ou seja por (A56), se alguma das variáveis q_k^R não básica assumir um valor unitário o valor de π será reduzido em y_{ok} . Por (A19) tem-se que:

$$\alpha_r q = b_r + q_k^e; \quad (A57)$$

e por (A20),

$$\alpha_r q = b_r - q_k^e; \quad (A58)$$

onde q_k^e é a variável folga da linha r . Dessa forma, por (A58), se uma variável folga e não básica q_k^e , ligada ao recurso r , for forçada a assumir um valor unitário, isto terá o mesmo efeito do que reduzir a disponibilidade b_r em uma unidade (ou, por (A57), aumentar uma exigência b_r em uma unidade). Portanto, o efeito da redução unitária do recurso b_r (ou acréscimo da demanda b_s) irá reduzir a função π em y_{ok} . Os textos que tratam

de Programação Linear, em geral, procuram mostrar o significado dos y_{oj} lançando mão da dualidade. Pode-se, contudo, demonstrar o papel dos y_{oj} de uma outra forma. Para tanto, toma-se que cada elemento de B^{-1} será η_{ij} . Então, por (A26), cada elemento de $\bar{q}^B$ será dado por

$$\bar{q}_s^B = \sum_{j=1}^m \eta_{sj} b_j. \quad (A59)$$

Dando uma variação db_r em um recurso ou demanda r , os elementos do novo vetor solução serão dados por:

$$\begin{aligned} \bar{q}_s^{B'} &= \sum_{j=1}^{r-1} \eta_{sj} b_j + \eta_{sr} (b_r + db_r) \\ &+ \sum_{j=r+1}^m \eta_{sj} b_j; \end{aligned}$$

ou seja:

$$\bar{q}_s^{B'} = \sum_{j=1}^m \eta_{sj} b_j + \eta_{sr} db_r$$

então por (A59),

$$\bar{q}_s^{B'} = \bar{q}_s^B + \eta_{sr} db_r \quad (A60)$$

De (A27), tem-se que o novo valor π da função objetivo será dado por

$$\bar{\pi}' = c^B \bar{q}^{B'}, \quad (A61)$$

ou, por (A60),

$$\bar{\pi}' = \sum_{s=1}^m c_s (\bar{q}_s^B + \eta_{sr} db_r), \quad (A62)$$

então:

$$\bar{\pi}' = \sum_{s=1}^m c_s \bar{q}_s^B + \sum_{s=1}^m c_s n_{sr} db_r.$$

Portanto,

$$\bar{\pi}' = \bar{\pi} + db_r \sum_{s=1}^m c_s n_{sr}. \quad (A63)$$

Se a_k for o vetor da variável folga ligada um recurso r totalmente utilizado⁽⁷⁾; definido em (A20), a_k é um vetor unidimensional dado por:

$$a_k = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 1 \\ \vdots \\ 0 \end{pmatrix} \quad (A64)$$

onde o valor unitário está na linha r .

Os valores y_{sk} serão obtidos como em (A48), ou seja:

$$y_{sk} = \sum_{j=1}^m n_{sj} a_{jk} \quad (s = 1, \dots, m) \quad (A65)$$

Como $a_{jk} = 0$, exceto para $a_{rk} = 1$, então:

$$y_{sk} = n_{sr} \quad (A66)$$

(7) a_k portanto está na matriz residual R , uma vez que, se r é totalmente utilizado, o valor da variável folga q_k é nulo.

A expressão (A63) pode então ser escrita como:

$$d\pi = \bar{\pi}' - \bar{\pi} = db_r \sum_{s=1}^m c_s y_{sk} \quad (A67)$$

Lembrando-se de (A50), tem-se

$$d\pi = db_r \cdot z_k. \quad (A68)$$

O que vale dizer que a taxa marginal de variação de π com relação a variação do montante b_r de um recurso, do vetor b , cuja variável folga é q_k^e , é dada por:

$$\frac{d\pi}{db_r} = z_k \quad (A69)$$

Como para as variáveis folga $c_k = 0$, de (A55) tem-se que

$$y_{ok} = z_k; \quad (A70)$$

e, portanto,

$$\frac{d\pi}{db_r} = y_{ok} \quad (A71)$$

Se r for uma demanda satisfeita no seu limite mínimo ao invés de um recurso; isto é, q_k^e foi introduzido em (A19), a_k terá na linha r o coeficiente $a_{rk} = -1$; e, portanto,

$$y_{sk} = -\eta_{sr}. \quad (A72)$$

E, dessa forma, a expressão (A67) será escrito como

$$d\pi = \bar{\pi}' - \bar{\pi} = - db_r \sum_{s=1}^m c_s y_{sk}; \quad (A73)$$

que, da mesma forma que em (A71) levará a concluir que

$$\frac{d\pi}{db_r} = -y_{ok}. \quad (A74)$$

Significando que a taxa marginal de variação de π com relação a variação do nível b_r uma demanda do vetor b , cuja variável folga é q_r^e é $(-y_{ok})$.

Assim, o y_{oj} de uma variável folga q_j^e é o lucro marginal advindo da variação na restrição a que q_j^e está ligada. Em outras palavras, o y_{oj} de uma variável folga é o custo de oportunidade de atender uma determinada demanda r ou de abrir mão de um recurso r ; conhecidos, também como preços internos ou preços sombra.

O conhecimento deste valor é um "insight" importantíssimo dos modelos de programação matemática. Se, por exemplo, um sistema tem um recurso r com custo de oportunidade y_{ok} e o preço desse recurso for p_r (ou p_r for o custo de se agregar mais de r ou, ainda, a receita unitária por vendê-lo⁽⁸⁾), de forma que

$$\frac{p_r}{y_{ok}} < 1; \quad (A75)$$

então, valeria a pena comprar mais do recurso r , pois o ganho y_{ok} com cada unidade a mais dele será maior do que o seu custo unitário p_r .

(8) Se r for insumo fixo, o seu custo de oportunidade será a soma dos valores presentes dos y_{oj} em cada ano de vida útil deste insumo.

Caso,

$$\frac{p_r}{y_{ok}} = 1; \quad (A76)$$

Não haverá ganho algum por se incorporar mais r ao sistema pois o ganho y_{ok} será identico ao custo p_r . e, ainda, se

$$\frac{p_r}{y_{ok}} > 1; \quad (A77)$$

então r estará sendo utilizado de forma economicamente ineficiente, pois seria compensador não utilizar todo o estoque b_r e vender parte dele por p_r , até que $y_{ok} = p_r$.

Em suma, isto lembra a clássica proposição da teoria econômica de que no nível ótimo de utilização de um recurso, o valor de seu produto marginal é igual ao seu preço.

APÊNDICE 4

A4. DETERMINAÇÃO DA AMPLITUDE DE VALIDADE DE UMA SOLUÇÃO ÓTIMA

A4.1 Análise de pós-otimização

Após determinada uma solução ótima, pode-se perguntar o que a aconteceria se:

- a) algum valor c_j for alterado; ou seja, num problema econômico, isto equivale a mudança nos preços relativos;
- b) algum valor b_i for alterado, ou seja, se a estrutura de recursos fixos for alterada.

Estas perguntas levam à chamada análise de pós-otimização, na qual procura-se estudar qual o efeito de modificações no sistema sobre a solução ótima. Ou, de outra forma, até quando se pode alterar o sistema sem modificar-se a solução ótima.

Uma base poderá deixar de ser ótima se a solução

deixar de ser ótima, ou seja, no caso de maximização, se pelo menos, um y_{oj} se tornar negativo, ou ainda, se a solução deixar de ser viável, isto é, se algum valor q_s^B se tornar negativo.

É preciso lembrar que, por (A53), o valor dos y_{oj} é determinado por c_j pelo vetor c^B e pelo vetor γ_j que, por sua vez é calculado em (A49), e dependerá dos coeficientes da matriz B e dos a_{ij} do vetor a_j . Dessa forma, mudanças nos c_j afetarão apenas o valor dos y_{oj} podendo forçar uma mudança de base se algum y_{oj} assumir valor negativo; ou seja, tornando a base atual sub-ótima.

Por outro lado, numa base viável, exige-se que todos os q_s^B sejam não negativos. O valor dos q_s^B , calculados em (A26) dependerão dos coeficientes da base B e do vetor de restrições b . Dessa forma, mudanças nos b_i , afetarão apenas o valor dos q_s^B , podendo forçar uma mudança de base se algum q_s^B assumir valores negativos; ou seja, tornando a base atual inviável.

A4.2 Limite de variação para os c_j de variáveis fora da base

As variações em c_j poderão dar-se em variáveis pertencentes ou não à base ótima.

Se ocorrer uma variação de c_k em uma contribuição c_k de uma variável q_k^R fora da base, por (A55), isto implicará na alteração de y_{ok} para um novo valor y'_{ok} . Para que a base continue a ser ótima, é preciso que:

$$y'_{ok} = -c_k - c^B c_k + z_k \geq 0 \quad (A78)$$

ou seja:

$$dc_k \leq y_{ok} \quad (A79)$$

A4.3 Limites de variação para os c_j de variáveis básicas

Se, por outro lado, for dado um dc_s na contribuição c_s de uma variável básica q_s^B ; então, por (A54), para que a permanença ótima, é preciso que para todos os $(n-m)$ novos y_{oj}

$$y'_{oj} = -c_j + \sum_{i=1}^{s-1} c_i y_{ij} + (c_s + dc_s) y_{sj} + \sum_{i=s+1}^m c_i y_{ij} \geq 0; \quad (A80)$$

ou por (A55);

$$y_{oj} + dc_s y_{sj} \geq 0; \quad (A81)$$

o que resulta em que

$$dc_s \leq \frac{-y_{oj}}{y_{sj}} \text{ p/ } y_{sj} < 0; \quad (j = m+1, \dots, n) \quad (A82)$$

ou

$$dc_s \geq \frac{-y_{oj}}{y_{sj}} \text{ p/ } y_{sj} > 0 \quad (j = m+1, \dots, n) \quad (A83)$$

Para que nenhuma restrição (A82) e (A83) seja violada, isto é, para que a solução continue a ser ótima, o valor máximo de dc_s será dado por

$$dc_s = \min_j \left[\frac{-y_{oj}}{y_{sj}}, p/y_{sj} < 0 \right]; \quad (j = m+1, \dots, n) \quad (A84)$$

e o valor mínimo será dado por

$$dc_s = \max_j \left[\frac{-y_{oj}}{y_{sj}}, p/y_{sj} > 0 \right]; \quad (j = m+1, \dots, n) \quad (A85)$$

O vetor a_e a entrar na base (não necessariamente no lugar de q_s) se dc_s atingir seu limite positivo, será aquele que satisfizer a condição.

$$\frac{y_{oe}}{y_{se}} = \min_j \left[\frac{-y_{oj}}{y_{sj}}, p/y_{sj} < 0 \right]. \quad (A86)$$

E, se dc_s atingir seu limite negativo

$$\frac{y_{oe}}{y_{se}} = \max_j \left[\frac{-y_{oj}}{y_{sj}}, p/y_{sj} > 0 \right]. \quad (A87)$$

A4.4 Limites de variação para os b_i quando a desigualdade for do tipo $\leq$.

Se houver variação db_r em algum nível b_r de um recurso r , como visto, isto poderá tornar a base atual inviável. Tem-se de (A60) combinado com (A66) e as restrições de não negatividade que:

$$\bar{q}_s^B = \bar{q}_s^B + y_{sk} db_r \geq 0 ; \quad (A88)$$

onde k é o índice da variável folga ligada a linha r ; o que resulta em que

$$db_r \geq \frac{-\bar{q}_s^B}{y_{sk}} \quad p/ y_{sk} > 0 ; \quad (A89)$$

ou

$$db_r \leq -\frac{\bar{q}_s^B}{y_{sk}} \quad p/ y_{sk} < 0 \quad (A90)$$

Para que nenhuma restrição (A89) e (A90) seja violada isto é, para que a solução continue a ser viável, o valor máximo de db_r será dado por

$$db_r = \min_s \left[-\frac{\bar{q}_s^B}{y_{sk}} , p/ y_{sk} < 0 \right] ; \quad (A91)$$

e o valor mínimo será dado por

$$db_r = \max_s \left[-\frac{\bar{q}_s^B}{y_{sk}}, p/y_{sk} > 0 \right]. \quad (A92)$$

O vetor a_e a sair da base quando db_r atingir seu limite positivo será dado por

$$\frac{\bar{q}_e^B}{y_{sk}} = \min_s \left[-\frac{\bar{q}_s^B}{y_{sk}}, p/y_{sk} < 0 \right]. \quad (A93)$$

E, se db_r atingir seu limite negativo

$$\frac{\bar{q}_e^B}{y_{sk}} = \max_s \left[-\frac{\bar{q}_s^B}{y_{sk}}, p/y_{sk} > 0 \right]. \quad (A94)$$

A4.5 Limites de variação para os b_i quando a desigualdade for do tipo $\geq$

Caso r seja uma demanda como definida em (A17), a condição (A89) em virtude de (A72) passará a ser

$$\bar{q}_s^B = \bar{q}_s^B - y_{sk} db_r \geq 0; \quad (A95)$$

portanto

$$db_r \leq \frac{\bar{q}_s^B}{y_{sk}} \quad p/y_{sk} > 0 \quad (A96)$$

ou

$$db_r \geq \frac{\bar{q}_s^B}{y_{sk}} \quad p/y_{sk} < 0 \quad (A97)$$

Para que nenhuma restrição (A96) e (A97) seja violada, isto é, para que a solução continue a ser viável, o valor máximo de db_r será dado por

$$db_r = \min_s \left[\frac{\bar{q}_s^B}{y_{sk}} \quad p/y_{sk} > 0 \right] ; \quad (A98)$$

e o valor mínimo será dado por

$$db_r = \max_s \left[\frac{\bar{q}_s^B}{y_{sk}} \quad p/y_{sk} < 0 \right] . \quad (A99)$$

O vetor a_e a sair da base quando db_r atingir seu limite positivo será dado por

$$\frac{\bar{q}_e^B}{y_{sk}} = \min_s \left[\frac{\bar{q}_s^B}{y_{sk}} \quad p/y_{sk} > 0 \right] . \quad (A100)$$

E, se db_r atingir seu limite negativo

$$\frac{\bar{q}_e^B}{y_{sk}} = \max_s \left[\frac{\bar{q}_s^B}{y_{sk}} \quad p/y_{sk} < 0 \right] . \quad (A101)$$

A4.6 Interpretação das amplitudes ("ranges") de variação dos c_j e b_i

A amplitude do intervalo em que um c_j ou b_i pode variar sem mudar a solução ótima dá uma idéia da estabilidade do sistema frente a este parâmetro. Dessa forma, enquanto os y_{oj} com maiores valores absolutos indicam os parâmetros cujas variações afetarão mais a função objetivo, os intervalos mais curtos de variação de c_j e b_i indicam onde o sistema mudará a composição de atividades com maior facilidade.