

# PROGRAMAÇÃO LINEAR EM UMA AGROINDÚSTRIA - PLANEJAMENTO, REDIMENSIONAMENTO E MAXIMIZAÇÃO DO LUCRO, O CASO DE GUARAQUEÇABA-PR.

J. L. M. SOUZA<sup>1</sup>, A. MACCARI JR.<sup>2</sup>, J. BITTENCOURT<sup>3</sup>

**RESUMO:** Com o auxílio de um modelo de programação linear aplicado à Unidade de Transformação de Produtos Agrícolas de Batuva-PR, o presente trabalho tem como objetivo, planejar o nível ótimo de transformação de banana *in natura* em passa e bala. A utilização da programação linear mostrou-se adequada: ao gerenciamento das quantidades de produtos transformados e nas decisões quanto a ampliação e modificação das instalações da unidade. Simulações mostram que algumas alterações propostas podem aumentar o lucro da empresa em até 175%.

**PALAVRAS-CHAVE:** programação linear; agroindústria; gerenciamento

## LINEAR PROGRAMMING IN AN AGROINDUSTRY - PLANNING, DIMENSION AND PROFIT MAXIMIZATION: CASE STUDY OF GUARAQUEÇABA.

**SUMMARY:** A model of linear programming was applied to the Batuva's Agricultural Products Processing Unit, in order to plan and maximize the banana fruits processing for dried banana (dehydration) and banana candy. The linear programming was appropriate to the management of the transformed products amount, and to the decisions related to amplification and modification of unit's structure. Some results of simulated alterations could increase the agroindustry's profit up to 175%.

**KEYWORDS:** linear programming; agroindustry; management

## INTRODUÇÃO

A viabilidade técnica e econômica calculada quando da elaboração de projetos de unidades agroindustriais pode sofrer alterações. Tais alterações ocorrem com a execução do projeto e ao longo do tempo, com o funcionamento da unidade e com alterações no sistema produtivo. É extremamente importante o acompanhamento e verificação de alterações físicas e operacionais com relação ao projeto inicial. Tais alterações implicam na necessidade de um redimensionamento e de novos estudos de viabilidade para a unidade, estudos que levem a uma melhor caracterização de seus processos operacionais e maximize os seus lucros.

A programação linear é uma ferramenta matemática que permite selecionar entre um conjunto de atividades viáveis, as que combinadas entre si asseguram o máximo resultado líquido, compatível com dada disponibilidade de recursos fixos. Esta técnica mostra-se versátil, sendo utilizada na solução de problemas como formulação de dieta alimentar, transporte, programação da produção, otimização de recursos hídricos, utilização de máquinas agrícolas, entre outros (Caixeta Filho 1997).

A comunidade de Batuva está localizada no município de Guaraqueçaba-PR. Com predomínio de pequenas propriedades, praticando agricultura de subsistência, a principal fonte de renda dos agricultores vem da venda de banana e de palmito.

O uso restrito de fertilizantes e agrotóxicos, leva à produção de frutos de qualidade inferior aos padrões exigidos pelo mercado tradicional. Assim, o lucro alcançado na comercialização é pequeno e o produto ainda sofre grande concorrência de outras regiões produtoras (Maccari Jr. & Bittencourt, 1997). Para agregar valor à produção, foi instalada no local uma agroindústria, a Unidade de Transformação de Produtos Agrícolas (UTPA-Batuva). A unidade é capaz de processar palmito e banana, produzindo com esta fruta doce e passa (Walflor, 1994 e Porcheron, 1995).

Nesse sentido, o presente trabalho tem como objetivo: planejar e redimensionar para UTPA Batuva, com o auxílio da programação linear, o nível ótimo de transformação de passa e bala de banana, visando a

<sup>1</sup> Aluno de P.G. em Irrig. e Drenagem/ESALQ/USP – Bolsista da CAPES; Prof. Assistente/DS/SCA/UFPR – Curitiba-PR  
Cx. P. 672 – CEP. 80035-050 – e-mail: jmoretti@carpa.ciagri.usp.br

<sup>2</sup> Prof. Assistente/DS/SCA/UFPR – NAAGRI – UFPR – Cx. P. 2959 – CEP. 80001-970, Curitiba -PR

<sup>3</sup> Aluno de P.G. em Pré-processamento de Produtos Agrícolas/FEAGRI/UNICAMP – Cx. P.6011 – CEP. 13081-490, Campinas-SP

maximização do lucro com os produtos produzidos. Nesta análise será levado em consideração as condições físicas já existentes e a condição de aumento de algumas instalações.

## MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido na Unidade de Transformação de Produtos Agrícolas de Batuva, localizada na Área de Proteção Ambiental de Guaraqueçaba-PR, a uma latitude 25°18' S, longitude 48°21' W-GR e 10 metros de altitude. O clima da região é classificado como tropical superúmido, com as temperatura média dos meses mais quentes superior à 22° C e dos meses mais frios, superior à 18° C. Os principais centros de comercialização são Paranaguá a 141 km (pelo mar) e Curitiba a 174 km (por terra).

As informações trabalhadas no modelo tratam dos diversos aspectos relacionados ao sistema de produção, quanto a:

- Produção de matéria prima  
A produção mensal de bananas *in natura* na região nos períodos de entressafra e safra oscilam, respectivamente, entre 19,6 e 39,6 toneladas. Uma parte das bananas são vendidas em *in natura*, sendo comercializadas em Curitiba-PR e a outra parte transformada na UTPA Batuva.
- Unidade de Processamento de Produtos Agrícolas de Batuva  
A UTPA Batuva possui uma área total de 157,74 m<sup>2</sup> (Figura 1) e foi projetada seguindo as exigências da Vigilância Sanitária do Estado do Paraná.

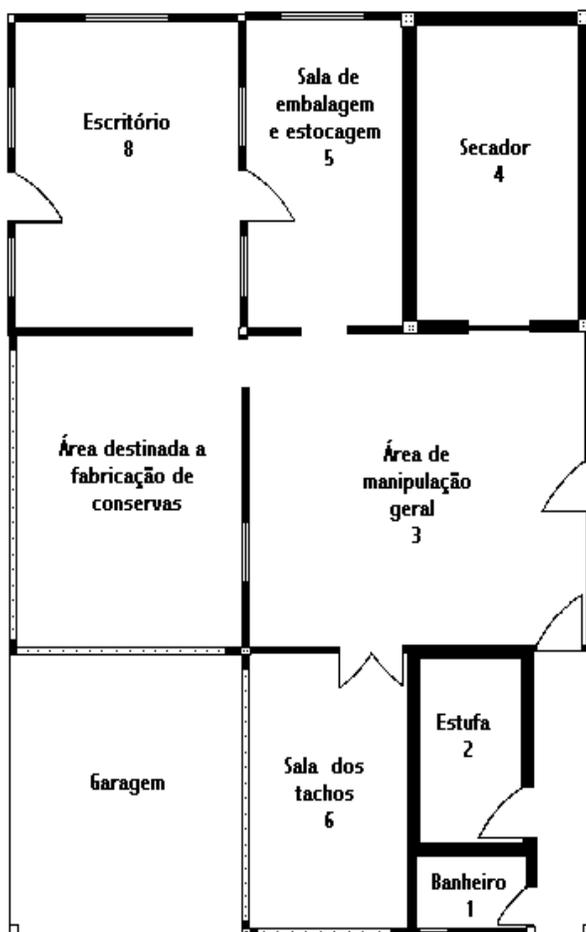


Figura 1. “Croquis” da Unidade de Transformação dos Produtos Agrícolas de Batuva

As principais instalações da unidade, analisadas neste trabalho, são:

- sala de estufagem da banana (compartimento 2) - com 6 m<sup>2</sup> de área e capacidade para maturação de 1.760kg de banana em três dias;
- secador de bananas (compartimento 4) - a sala do secador tem área de 14,21 m<sup>2</sup>, o secador (equipamento instalado) trata-se de uma adaptação do modelo tipo túnel e ocupa longitudinalmente a metade desta dependência, sendo o restante da área necessária para manobra de carrinhos (vagonetes). Sua capacidade projetada é de 2.160 kg de banana, para um tempo de secagem estimado em 48 horas, mais 24 horas de manutenção. O secador foi projetado pelos técnicos do Núcleo de Apoio à Agroindústria da Universidade Federal do Paraná (NAAGRI – UFPR).
- sala dos tachos (compartimento 6) - com 12,45 m<sup>2</sup>, esta sala contém dois tachos de cobre sobre estrutura de alvenaria e sistema de pá mexedora movido a motor elétrico. Cada tacho possui uma capacidade de 120 kg de polpa de banana, num período de cozimento variável entre 8 e 14 horas.

A Figura 2, apresenta um fluxograma demonstrativo dos processos existentes entre a produção e a venda da banana e seus derivados na UTPA Batuva.

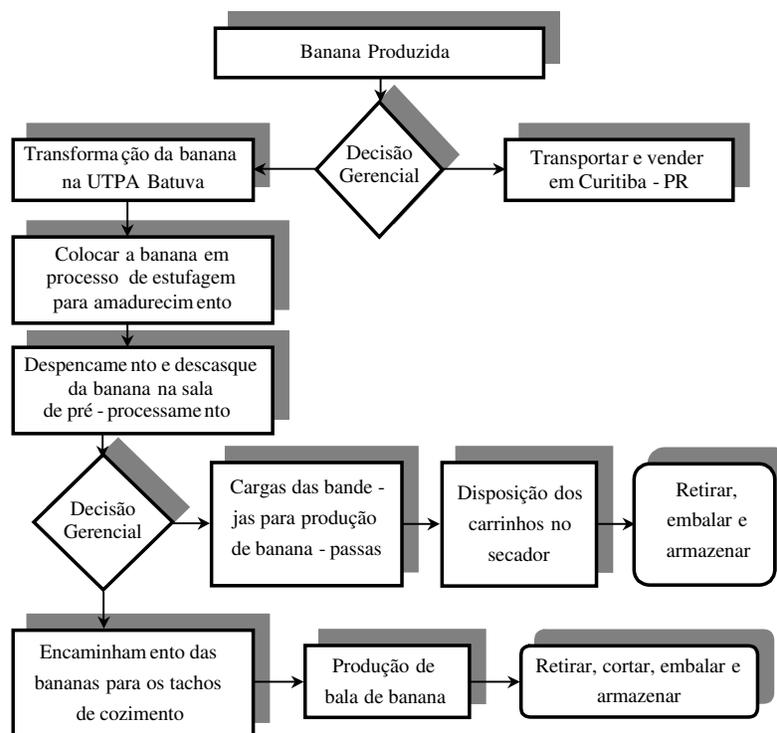


Figura 2. Fluxograma demonstrativo da produção e a venda da banana e seus derivados na UTPA Batuva

Os dados de custo de produção, para obtenção da margem líquida com a venda dos produtos produzidos na UTPA Batuva, foram retirados do relatório técnico de Maccari Jr. & Bittencourt (1998) denominado “Análise dos custos de produção dos processos de transformação da banana – Parte 2”. Neste relatório, a margem líquida por kg, obtida com a venda da banana *in natura*, bala e passa são de 0,041; 0,243 e 2,53 reais, respectivamente. Para determinação dos custos com transporte da banana produzida em Batuva à Curitiba, foram adotadas as seguintes equações lineares:

$$\text{estrada asfaltada: } Y = 0,00307 \cdot X + 4,517$$

$$\text{estrada de terra: } Y = 0,04605 \cdot X + 4,517$$

Y = custo com o transporte (R\$/tonelada);  
X = distância a ser percorrida (km).

O custo com transporte da banana *in natura* de Batuva à Curitiba conforme este levantamento fica 0,0137 reais/kg.

A estruturação do problema foi feita organizando os dados de aspectos técnicos para um período de seis dias trabalhados e um dia de folga. A análise feita desta forma, simplifica bastante o problema, visto que: a estufa opera em turnos de no mínimo três dias (72 horas); e evita que algum tipo de atividade tenha que ser feita no domingo, o que a religião e hábitos da maioria dos moradores da comunidade não permite.

A entrada dos dados nas inequações foi feita considerando a banana *in natura* para evitar possíveis confusões com as transformações e erros nos cálculos. A saída dos resultados para os produtos transformados é dada em kg de produto/semana (passa, bala) para que novamente não ocorra erros devido a transformações e confusões quanto a interpretação das unidades.

• **Variáveis do problema:**

- X1 – banana *in natura* vendida em Curitiba;
- X2 – banana *in natura* transformada em passa;
- X3 – banana *in natura* transformada em bala;
- X4 – banana *in natura* vendida em Curitiba;
- X5 – banana passa produzida; e
- X6 – bala de banana produzida.

• **Função objetivo:**

$$Max. L = \sum_{i=1}^6 P_i \cdot X_i$$

P<sub>i</sub> = margem líquida por kg de produto vendido;

X<sub>i</sub> = quantidade do produto, em kg, que deve ser vendido *in natura* ou processado.

• **Sujeito às Restrições:**

- Quantidade de banana produzida na região:
  - Produção em kg de banana em 7 dias na safra ..... ⇒ X<sub>1</sub> + X<sub>2</sub> + X<sub>3</sub> ≤ 9.240
  - Produção em kg de banana em 7 dias na entressafra ..... ⇒ X<sub>1</sub> + X<sub>2</sub> + X<sub>3</sub> ≤ 4620
- Capacidade em kg existente para realização da estufagem da banana em 6 dias ⇒ X<sub>2</sub> + X<sub>3</sub> ≤ 3520
- Capacidade mínima em kg de polpa de banana no tacho em um dia ..... ⇒ X<sub>3</sub> ≥ 0
- Capacidade máxima em kg de polpa de banana nos dois tachos em 6 dias ..... ⇒ X<sub>3</sub> ≤ 1440
- Capacidade mínima em kg do secador em 6 dias ..... ⇒ X<sub>2</sub> ≥ 0
- Capacidade máxima em kg do secador em 6 dias ..... ⇒ X<sub>2</sub> ≤ 4.317
- Capacidade de carga do caminhão em 6 dias ..... ⇒ X<sub>2</sub> ≤ 39.600
- Relação de aproveitamento da banana nas diversas transformações ..... ⇒ -1 . X<sub>2</sub> + 1,5 . X<sub>3</sub> ≥ 0
- Condição de igualdade entre X<sub>1</sub> e X<sub>4</sub>, valores de banana *in natura* ..... ⇒ X<sub>4</sub> - X<sub>1</sub> = 0
- Conversão da Quantidade de banana *in natura* em banana passa ..... ⇒ 5 . X<sub>5</sub> - X<sub>2</sub> = 0
- Conversão da Quantidade de banana *in natura* em bala de banana ..... ⇒ 5,226 . X<sub>6</sub> - X<sub>3</sub> = 0
- Condição de positividade ..... ⇒ X<sub>1</sub>, X<sub>2</sub>, X<sub>3</sub>, X<sub>4</sub>, X<sub>5</sub> e X<sub>6</sub> ≥ 0

Uma vez estabelecida as variáveis, função objetivo e as restrições a que os processos da UTPA Batuva estavam sujeitos, passou-se então à execução do modelo com análise dos dados emitidos. O programa “ORSYS”, versão padrão e módulo LP, foi o software utilizado para executar o modelo de programação linear estruturado.

**RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Verifica-se que o modelo para os períodos de safra e entressafra é o mesmo, havendo alteração apenas no RHS da restrição que informa a quantidade de banana produzida (kg de banana em 7 dias) no local segundo o referido período.

A Tabela 1, foi montada a partir dos resultados emitidos pelo “ORSYS” nos relatórios primal, dual e de análise de sensibilidade.

Tabela 1. Quantidade de produtos processados e/ou vendidos *in natura* com o aumento da capacidade da estufa, tachos e secador

Capacidade		Banana <i>In natura</i> (kg)	Produtos processados		Variação do RHS Secador (kg)	Folga Secador (kg)	Variação do RHS Tachos (kg)	Folga dos Tachos (kg)	Variação do RHS Estufa (kg)	Folga da Estufa (kg)	Lucro (R\$)
Estufa (kg)	Tachos (kg)		Passa (kg)	Bala (kg)							
3.520	1.440	5.720	422,4	269,4	2.112 - ∞	2.205	1.408 - ∞	32,0	0 - 3.600	0,0	1.371,5
4.000	1.440	5.640	432,0	275,5	2.160 - ∞	2.157	0 - 1.600	0,0	3.600 - ∞	400	1.394,1
4.000	2.160	5.240	480,0	306,2	2.400 - ∞	1.917	1.600 - 0	560,0	0 - 5.400	0,0	1.507,0
5.400	2.160	3.840	648,0	413,3	3.240 - ∞	1.077	2.160 - ∞	0,0	0 - 5.400	0,0	1.902,2
6.000	2.880	3.240	720,0	459,2	3.600 - ∞	717	2.400 - ∞	480,0	0 - 7.195	0,0	2.071,5
7.195	2.880	2.045	863,4	550,7	4.317 - ∞	0,0	2.878 - ∞	2,0	0 - 7.195	0,0	2.408,8
9.240	3.600	1.323	863,4	688,8	0 - 5.400	0,0	<sup>2878-4923</sup>	0,0	7.917 - ∞	1.323	2.412,4
9.240*	3.600*	240	1.080,0	688,8	5.400 - ∞	144	0 - 3.696	0,0	9.000 - ∞	240	2.918,3

\* Neste cenário, a capacidade do secador foi aumentada para 5.544 kg de banana *in natura* por semana. Nos demais cenários contidos na tabela a capacidade do secador foi sempre de 4.317 kg/semana.

Os dados da Tabela 1, permitem constatar que:

Considerando a capacidade atual de estufagem (3.520 kg/semana) e dos tachos (1.440 kg/semana), pode-se processar na UTPA Batuva 422,4 kg de passa, 269,4 kg de bala e vendidos 5.720 kg de banana *in natura*, por semana. Nesta condição, o secador da UTPA ainda apresentaria uma folga de 2.205 kg, enquanto que na estufa a folga seria zero e os tachos também estariam muito próximos de sua capacidade limite, tendo folga para apenas 167,7 kg de banana *in natura*.

Fazendo-se a opção de aumentar a capacidade da estufa para 4.000 kg/semana e de se montar mais um tacho de cozimento, observa-se que:

- o secador ainda apresentaria uma folga de 1.917 kg e os tachos ficariam com uma folga de 560 kg;
- a estufa ainda seria a restrição atuante do problema com folga zero, podendo ser aumentada até a capacidade de 5.400 kg/semana que ainda permaneceria na base problema;
- com a ampliação da estufa e com a montagem de mais um tacho de cozimento, o lucro/semana da UTPA passaria então de 1.371,56 reais, conforme a situação atual permite, para 1.507,05 reais;
- a quantidade de produtos processados por semana seriam de 480 kg de passa, 306,2 kg de bala e restariam ainda 5.240 kg de banana *in natura* para ser vendida.

Ampliando apenas a estufa para uma capacidade de 5.400 kg/semana, verifica-se que os tachos novamente passariam a ser a restrição atuante do problema. Haveria folga no secador e na estufa. O lucro alcançado na função objetivo com esta alteração do RHS da restrição estufa seria de 1.902,21 reais.

A condição de ampliação da estufa e dos tachos só terminaria, quando se chegasse a conter na UTPA uma estufa com capacidade de 7.195 kg/semana e um conjunto de tachos com 2.880 kg/semana. As quantidades de passa, bala transformadas e de banana *in natura* seriam de 863,4, 550,7 e 2.045 kg, respectivamente. Nesta situação o secador, estufa e tachos estariam praticamente sem folga e o aumento do lucro só seria possível com uma reforma e/ou otimização dos processos utilizados nestes três setores. O lucro alcançado para esta situação seria de 2.408,86 reais.

É bom ressaltar que o secador da UTPA Batuva, foi projetado de forma a propiciar facilmente o aumento de sua capacidade produtiva. Se isto fosse feito, para se chegar ao lucro máximo da função objetivo do problema, seria necessário que: o secador tivesse sua capacidade aumentada de 4.317 kg para 5.544 kg de banana *in natura* por semana; houvesse no mínimo duas estufas e/ou um sistema de maturação perfazendo uma capacidade total de 9.240 kg/semana; e um número de 5 tachos com capacidade 720 kg/semana cada um (total de 3.600 kg/semana). Seriam produzidos 1.080 kg/semana de passa, 688,8 kg/semana de bala, e ainda restariam 240 kg/semana de banana *in natura* para serem comercializados. O lucro máximo proporcionado nestas circunstâncias seria de 2.918,34 reais.

## CONCLUSÕES

De acordo com as informações coletadas e analisadas no presente estudo concluiu-se que:

- a) A programação linear mostrou-se adequada ao desenvolvimento de um modelo que auxilie: no gerenciamento das quantidades de banana que devem ser transformadas e/ou vendidas *in natura* para

proporcionar a maximização do lucro da empresa; e nas tomadas de decisões quanto a ampliação e modificação das instalações da UTPA Batuva.

- b) O Programa ORSYS executou o modelo desenvolvido com facilidade e rapidez.
- c) Apesar das quantidades de banana nos períodos de safra e entressafra serem muito diferentes, a transformação dos produtos passa e bala de banana na condição presente da agroindústria são iguais para os dois períodos. O tamanho da estufa e o número de tachos existentes são as restrições mais atuantes ao aumento de produtos transformados e conseqüentemente no lucro alcançado pela função objetivo.
- d) Com o aumento da capacidade de estufagem para 5.720 kg/semana e a montagem de mais 3 tachos com capacidade de 120 kg de banana *in natura*, a UTPA Batuva poderá proporcionar um lucro de até 2.412,49 reais por semana. Este lucro é 1.040,93 reais maior que as condições atuais permitem.
- e) A Unidade de Transformação de Produtos Agrícolas de Batuva-PR, mostra-se como uma alternativa viável à melhoria das condições financeiras dos agricultores. Para todas as análises e situações criadas foi sempre mais vantajoso transformar a maior quantidade possível de banana produzida no local do que vendê-la *in natura*, em Curitiba-PR.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CAIXETA FILHO, J. V. **Pesquisa operacional aplicada ao sistema agro-industrial**. Relatório Técnico de Projeto de Pesquisa, apoiado pelo CNPq. 1997. 184p.
- MACCARI Jr., A.; BITTENCOURT, J. Tecnologia de produção para banana-passa e bala de banana – Parte 1. **Relatório do Projeto de Desenvolvimento Sustentável em Guaraqueçaba**. Curitiba: UFPR/PROEC-SCA/DETR. 1997. 11 p.
- MACCARI Jr., A.; BITTENCOURT, J. Análise dos custos de produção dos processos de transformação da banana – Parte 2. . **Relatório do Projeto de Desenvolvimento Sustentável em Guaraqueçaba**. Curitiba: UFPR/PROEC-SCA/DETR. 1998. 5p.
- PORCHERON, C. Criação de uma pequena unidade de transformação de produtos agrícolas em Batuva: Apresentação do Estudo de Factibilidade. . **Relatório do Projeto de Desenvolvimento Sustentável em Guaraqueçaba**. Curitiba: APB/UFPR/ PROEC/ HOLOS. 1995. 10p.
- WALFLOR, M. F. M. Proposta de projeto de extensão: Desenvolvimento sustentável em Guaraqueçaba. . **Relatório do Projeto de Desenvolvimento Sustentável em Guaraqueçaba**. Curitiba:UFPR/PROEC/HOLOS. 1994. 10p.