

# PROGRAMAÇÃO DE COLHEITA ATRAVÉS DO TEOR DE SÓLIDOS SOLÚVEIS

JOSÉ VICENTE CAIXETA FILHO <sup>(1)</sup>

## RESUMO

A competitividade do setor citrícola brasileiro é função do controle de qualidade sobre o processo de transformação do fruto em suco, começando com um cronograma de colheita. Assim sendo, foi formulado um modelo para a programação de colheita de laranja, amparando-se basicamente sobre a teoria de programação matemática e já incorporando informações sobre a maturação dos frutos, mediante índices, como Brix e Ratio, os quais, por sinal, mostraram-se bastante adequados para isso. Cada estrutura do modelo foi verificada e validada com dados reais da época e, mesmo gerando matrizes de grandes dimensões, não se torna limitado devido à eficiência dos *softwares* para microcomputadores.

## SUMMARY

### CITRUS HARVESTING BASED ON TOTAL SOLUBLE SOLIDS

The competitiveness of the brazilian citrus juice processing sector is a function of the quality control of its final

---

<sup>(1)</sup> Departamento de Economia e Sociologia Rural, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Caixa Postal 09, 13418-900, Piracicaba (SP).

product, which must begin at harvesting of the crop. A mathematical model is formulated taking into consideration the chemical biological, and logistical restrictions to the task of harvesting the best quality fruit. The model was successfully tested during one season. The use of micro-computers and their softwares was not limited by the large dimension of the harvested area.

## INTRODUÇÃO

A partir da década dos 70s, a expansão da citricultura brasileira se faz quase de forma exponencial. O avanço da laranja fica claro, principalmente em São Paulo, onde, na safra 91/92, já alcançava um milhão de hectares plantados (um aumento de 100% em cinco anos). No mesmo Estado, vêm sendo atingidas, em alguns pomares, médias de produtividade bastante próximas às dos mais eficientes pomares americanos, que giram em torno de 5 caixas de 40,8 kg por árvore.

Atualmente, como maior exportador mundial de suco de laranja, o Brasil tem permanecido no mercado mundial graças ao bom padrão de qualidade que seu produto oferece e às circunstâncias adversas que seus competidores vêm enfrentando. Em condições normais de competição, entretanto, a qualidade deverá ser levada ainda mais em consideração, inclusive quando da programação da colheita.

Segundo PETTO NETO et al. (1991), essa programação, no Estado, para laranja com fins industriais, tem sido de responsabilidade do comprador, que contrata a comercialização antes de o fruto atingir a sua maturidade. Caso o destino da laranja seja o

consumo *in natura* (de mesa), os eventuais produtores autônomos fazem a sua própria colheita, classificando e padronizando o produto em *packing house* próprio. Entretanto, a colheita não se efetiva necessariamente quando o fruto atinge o grau ideal de maturação. No caso de a laranja passar a ser comercializada com base no teor de sólidos solúveis, e não por quantidade de caixas de 40,8 kg, a melhora da sua qualidade será forçada e premiará os melhores produtos.

Deverá ser então elaborada uma estrutura de modelagem para programação da colheita de laranja, através da utilização de instrumental que considere não somente as características logísticas do processo (distância de transporte, por exemplo), como as características específicas dos pomares (produtividade, por exemplo) e dos frutos (como o teor de sólidos solúveis).

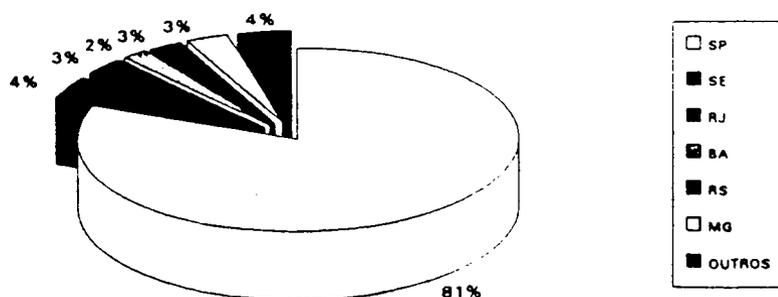
## A CITRICULTURA E A QUESTÃO DA QUALIDADE

A importância da citricultura para o mundo, segundo a FAO (1991), fica evidente quando se observa que ao final da década dos 80s, entre as frutas, os citros ocupavam o primeiro lugar em termos de volume físico (68 milhões de toneladas), à frente das uvas de mesa e de vinho, com 61 milhões; bananas, com 46 milhões, e maçãs, com 40 milhões de toneladas.

Em termos de valores monetários, segundo NEVES et al. (1992), as cifras alcançadas em 1990 pelo mercado mundial de citros giravam em torno de US\$ 6,5 bilhões, com o suco cítrico representando 45% deste total e 70% do valor do comércio mundial de sucos de frutas e hortaliças.

Com relação à sua participação nesse mercado, o Brasil vem ocupando posição de destaque, como maior produtor e exportador de sucos cítricos do mundo desde 1982, sendo o setor citrícola responsável por mais de US\$ 1 bilhão anuais da balança comercial brasileira, colocando-se sempre entre os cinco produtos mais importantes na pauta de exportações brasileiras provenientes do setor primário.

A base do setor citrícola brasileiro se concentra principalmente no Estado de São Paulo, o que pode ser confirmado quando se observa sua participação marcante no cenário nacional. Ainda, levando-se em conta a liderança brasileira em termos de participação no mercado internacional de suco de laranja, NEVES et al. (1992) admitem que o Estado de São Paulo seja, em termos individuais, o maior produtor de laranja do mundo (Figura 1).



Fonte: IBGE

Figura 1. Participação dos Estados na produção de laranja no Brasil

## A PROGRAMAÇÃO DA COLHEITA DE LARANJA

Nesse caso, a importância da atividade justifica plenamente a utilização de mecanismos de controle de qualidade. Segundo STEGER (1990), o citricultor é um dos principais responsáveis pela qualidade do fruto, através, por exemplo, da escolha correta das variedades, da adubação e dos tratamentos culturais e fitossanitários que contribuem para que os frutos apresentem características industriais desejáveis.

Entretanto, a colheita é também, se não principalmente, responsabilidade da indústria. O sistema de colheita pelas próprias indústrias, de acordo com MATA (1989), permite que os frutos sejam colhidos no ponto correto de maturação para a produção de suco de boa qualidade, o que seria muito difícil de conseguir se cada um dos 20.000 produtores paulistas colhesse a própria produção.

Por mais óbvio que seja esse raciocínio, as indústrias mantêm grande sigilo quanto ao *modus operandi* de seus mecanismos de programação de colheita. Mesmo a literatura, tanto nacional quanto internacional, é extremamente restrita quanto à documentação de estratégias ou ferramentas usadas pelas indústrias citrícolas em termos dessa programação.

Uma das justificativas para tal, tanto ao nível de mercado interno quanto externo, diz respeito à concorrência propriamente dita. A partir do momento em que citricultores brasileiros e americanos dispuserem de, no mínimo, condições climáticas ideais para despejar no mercado toda a sua produção, a questão da qualidade será fundamental para a conquista do mercado.

Outra justificativa, mas específica ao caso brasileiro, dá conta do modelo vigente de remuneração ao citricultor.

### MODELOS DE REMUNERAÇÃO

Tomando-se as informações compiladas por BOCAIUVA et al. (1991), tem-se que o produtor vem sendo remunerado pela quantidade produzida, de acordo com a seguinte fórmula:

$$PC = (BNY - RPC) / TR \quad (1)$$

onde:

- PC = preço final da caixa de laranja;  
 BNY = média anual das cotações de suco de laranja na Bolsa de Nova Iorque;  
 RPC = remuneração de produção industrial e comercialização, obtida a partir de planilha de custos fornecida pelas indústrias;  
 TR = taxa de rendimento, representando o número de caixas de laranja, de 40,8 kg, necessárias para a produção de uma tonelada de suco concentrado a 65° Brix, fixada no início de cada safra, a partir de negociações entre produtores e indústria.

O citricultor, portanto, tem uma remuneração fixa, por caixa, independente de seu maior ou menor nível de eficiência. As desvantagens desse tipo de remuneração são várias, sobresaindo as seguintes:

a) o custo de colheita de uma caixa num pomar com produtividade igual a uma caixa por árvore é praticamente o dobro daquela colhida num pomar de três caixas por árvore (DI

GIORGI, 1991). O contrato penaliza, portanto, o eficiente, o mais produtivo, uma vez que, quanto maior o rendimento, menor a quantidade de caixas necessárias para a fabricação de uma tonelada de suco concentrado (MATA, 1989). Não há prêmios àqueles que têm pomares com rendimentos mais elevados, graças ao melhor uso de técnicas de produção (porta-enxertos, copas selecionadas, etc.);

b) o frete entre o pomar e a fábrica, assumido pela indústria, varia segundo a distância, chegando a ser 2,5 vezes maior quando se compara o custo unitário do frete de um pomar a 50 km da fábrica com outro a 200 km (DI GIORGI, 1991). O contrato atual é omissivo em relação à distância e, da mesma forma, penaliza alguns, beneficiando outros;

c) de acordo com BOCAIUVA et al. (1991), o advento de contratos de dois e três anos faz que as indústrias cítricas congelem até 1994 os atuais valores de custos industriais e de comercialização, os quais se encontram em seus níveis mais altos. Portanto, mesmo que as indústrias continuem a perseguir a minimização de seus custos, o produtor que tenha assinado tais tipos de contrato não será beneficiado.

Entretanto, é sabido que a maioria das indústrias se utiliza de compradores (ou supervisores) que identificam (por amostragem e análise em laboratório ou inspeção visual) os pomares mais maduros (ou mais adequados) a serem colhidos em determinada época, em função de melhor qualidade de suco. Essa informação e sua manipulação, independente de seus graus de confiabilidade, não são de domínio público e muito menos repassadas aos produtores.

## PONTO DE COLHEITA

Para definir o ponto de colheita de determinado pomar, as características de maturação do fruto devem ser analisadas. Segundo LOTT (1945), a maturação constitui o processo de desenvolvimento no qual os frutos atingem a maturidade, pelo aumento da concentração de açúcares e pela diminuição da quantidade dos ácidos presentes<sup>(2)</sup>.

Conforme MARCHI (1993), o aumento dos açúcares ocorre durante toda a fase de crescimento e maturação dos frutos, estando diretamente relacionado à intensidade do processo fotossintético e, por sua vez, à temperatura e à intensidade da luz. Quanto aos ácidos, são formados durante o ciclo de Krebs, na mitocôndria das células do suco, sendo o cítrico o primeiro a ser elaborado.

Dado que o ponto de colheita está diretamente ligado à maturidade e, por consequência, à qualidade do fruto, uma série de índices explicatórios desse estado pode ser determinada. VIEGAS (1991) cita o índice *Ratio*, relação entre o teor percentual de sólidos solúveis no fruto (Brix) e o percentual de acidez titulável no suco da laranja, assim como o próprio Brix. MARCHI (1993) menciona também o índice tecnológico (quilograma de sólidos solúveis no suco a ser extraído de uma caixa de 40,8 kg de laranja), parâmetro adotado pela indústria para expressar o rendimento da matéria-prima.

<sup>(2)</sup> Os açúcares representam mais de 70% dos sólidos solúveis existentes na laranja, sendo os ácidos orgânicos, principalmente o cítrico, responsáveis por outros 10%.

HALPERN & ZUR (1988) confirmam também a constatação de que a maioria das variedades de citros têm uma época mais adequada de colheita, na qual o Brix é ótimo. Como consequência, os frutos colhidos no ponto ótimo de Brix oferecem maior produtividade de suco concentrado. O principal resultado desse trabalho dá conta de que o acréscimo de Brix obtido, caso o fruto seja colhido no ponto ótimo de maturação (em comparação com o colhido num estágio de maturação médio) gira em torno de 7 a 14%. Trata-se, portanto, de mais um indicativo de que a colheita de laranja para fins industriais deve ser programada em função dos pontos de maturação ótimos das diversas variedades de citros, o que beneficiaria, diretamente, as indústrias, e, indiretamente, os próprios produtores, que plantariam as variedades mais adequadas ao processamento.

Caso um modelo de remuneração com base no Brix e/ou *Ratio* (e não mais em número de caixas necessárias para a produção de uma tonelada de suco) seja estabelecido para o Estado de São Paulo, o passo inicial deverá dizer respeito à padronização de procedimentos para a implantação e operacionalização de laboratórios, devidamente equipados para proceder à análise dos frutos retirados pelas próprias indústrias dos caminhões de transporte (CAMPANELLI & BOCAIUVA, 1989).

Tal modelo de remuneração poderia resultar, por exemplo, em uma diminuição da defasagem entre os desempenhos dos colhedores brasileiros e americanos, uma vez que esses últimos, de acordo com DI GIORGI (1991), vêm observando uma produtividade duas vezes maior, além de receber oito vezes mais que os brasileiros.

Facilitaria, ainda, a adoção de novas tecnologias de colheita. Em países mais desenvolvidos, como os Estados Unidos e o Japão, em função de a indústria vir-se defrontando com a crescente aceleração dos custos de mão-de-obra, alternativas para maior eficiência na colheita dão conta da utilização de colhedoras mecânicas ou de soluções em termos de aplicação de robótica.

### UTILIZAÇÃO DE PROGRAMAÇÃO LINEAR PARA PROGRAMAÇÃO DE COLHEITA

As aplicações de programação linear à colheita, documentadas nos últimos cinco anos sobre casos brasileiros que mais se aproximam à programação de colheita de laranja, são aquelas que dizem respeito ao gerenciamento de lavouras de cana-de-açúcar (GUALDA & TONDO, 1991; BARATA, 1992) ou de florestas de *Eucalyptus* (DIAS et al., 1984). Coincidentemente, trata-se de segmentos agroindustriais que vêm observando contínuo avanço em termos de geração de divisas, como a laranja.

Pode-se verificar uma série de similaridades entre tais aplicações, assim como entre as mesmas e uma eventual aplicação para programação de colheita de laranja. Tanto *Eucalyptus* quanto a cana-de-açúcar e a laranja, têm o seu ponto de colheita associado a determinado estágio de crescimento e/ou maturação. No caso de florestas, os rendimentos a serem alimentados à estrutura de modelagem pertinente será função das curvas de crescimento representativas, tendo em vista a minimização dos

HALPERN & ZUR (1988) confirmam também a constatação de que a maioria das variedades de citros têm uma época mais adequada de colheita, na qual o Brix é ótimo. Como consequência, os frutos colhidos no ponto ótimo de Brix oferecem maior produtividade de suco concentrado. O principal resultado desse trabalho dá conta de que o acréscimo de Brix obtido, caso o fruto seja colhido no ponto ótimo de maturação (em comparação com o colhido num estágio de maturação médio) gira em torno de 7 a 14%. Trata-se, portanto, de mais um indicativo de que a colheita de laranja para fins industriais deve ser programada em função dos pontos de maturação ótimos das diversas variedades de citros, o que beneficiaria, diretamente, as indústrias, e, indiretamente, os próprios produtores, que plantariam as variedades mais adequadas ao processamento.

Caso um modelo de remuneração com base no Brix e/ou *Ratio* (e não mais em número de caixas necessárias para a produção de uma tonelada de suco) seja estabelecido para o Estado de São Paulo, o passo inicial deverá dizer respeito à padronização de procedimentos para a implantação e operacionalização de laboratórios, devidamente equipados para proceder à análise dos frutos retirados pelas próprias indústrias dos caminhões de transporte (CAMPANELLI & BOCAIUVA, 1989).

Tal modelo de remuneração poderia resultar, por exemplo, em uma diminuição da defasagem entre os desempenhos dos colhedores brasileiros e americanos, uma vez que esses últimos, de acordo com DI GIORGI (1991), vêm observando uma produtividade duas vezes maior, além de receber oito vezes mais que os brasileiros.

## O MODELO PROPOSTO

Até meados da década dos 80s, as alternativas disponíveis para resolver grandes problemas por programação linear diziam respeito a pacotes instalados em computadores de médio a grande porte, com custos de processamento excessivamente elevados, o que, em muitos casos, não estimulava sua utilização.

Com a compactação dos processadores de computadores e com a diminuição dos custos operacionais, começam a tornar-se disponíveis alternativas de pacotes de programação linear para microcomputadores. Entretanto, a questão da explosão combinatória ainda era um impedimento para a popularização no emprego de pacotes de programação linear inteira, que, em grande parte, eram ferramentas distintas das de programação linear.

Próximo ao fim da década dos 80s, soluções para o aumento de memória em microcomputadores parecem contornar a questão da explosão combinatória, assim como linguagens de modelagem começam a ser desenvolvidas com o intuito de propiciar códigos comuns à utilização de ferramentas distintas de programação linear (inteira ou não), programação não linear, etc. SHARDA (1992) apresenta um estudo sobre as possibilidades existentes nesse sentido.

Em vista disso, foi selecionada uma dessas linguagens, no caso a GAMS (BROOKE et al., 1992), e sobre ela codificada a estrutura do modelo. GAMS - *General Algebraic Modeling System* - é uma tecnologia de modelagem que teve seu desenvolvimento

iniciado no fim da década dos 80s, através de equipe de economistas do Banco Mundial, com o objetivo de possibilitar a estruturação de modelos através de linguagem extremamente próxima da linguagem matemática, além de ser flexível à incorporação de algoritmos para programação matemática disponíveis no mercado. Não se trata, portanto, de um esforço para o desenvolvimento de algoritmos mais convergentes, mas, sim, para incorporá-los a um pacote que se preze pela facilidade de manipulação, tanto para programadores especializados quanto para o usuário final. Entre outras vantagens, possibilita a formulação do modelo na mesma forma em que a representação matemática foi concebida; a utilização de somatórios propicia a geração automática de matrizes; as variáveis exógenas podem ser alimentadas ao problema sem ter que observar um padrão rígido de formato, variando desde o ASCII (*American National Standard Code for Information Interchange*) e passando, por exemplo, pelo formato das mais diversas planilhas eletrônicas existentes no mercado.

Entretanto, a satisfação do modelador por uma linguagem inteligente nem sempre é corroborada pelo usuário final do modelo. Interfaces amigáveis para entrada e saída de informações são normalmente imperativas para que a possibilidade de êxito na utilização de uma ferramenta seja bastante razoável. Em vista disso, interfaces poderão ser desenvolvidas para traduzir para a linguagem GAMS os dados necessários para a estruturação do modelo, a partir do próprio usuário final, assim como interpretar os resultados obtidos pela linguagem GAMS através de um formato mais adequado a esse mesmo usuário.

Portanto, além de possibilitar um aumento na eficiência da comunicação entre o usuário da ferramenta e o modelo em si, deverão também ser oferecidas ao usuário condições de alterar a estrutura do modelo, sem necessariamente diligenciar aspectos intrínsecos a esta ou àquela teoria.

Assim sendo, o modelo a ser proposto segue a estrutura básica de modelos de otimização, a partir da maximização de determinada função-objetivo, sujeita a uma série de restrições.

A função-objetivo será definida como sendo a *margem total de contribuição ao lucro* (M) a ser recebida pela indústria, ou seja:

$$M = \text{RSS} - \text{CTOTTR} - \text{CTOTCOLH} \quad (2)$$

onde:

RSS = receita a ser auferida pela comercialização do suco, em função do total de sólidos solúveis, em US\$, sendo que:

$$\text{RSS} = \text{PSS} * \sum_i \sum_j \text{PRO}_{ij} * \text{ISS}_{ij} * T_{ij} \quad (3)$$

onde:

PSS = preço do kg de sólido solúvel, em US\$;

PRO<sub>ij</sub> = valor da função de produção do talhão i, no mês j, em caixa;

ISS<sub>ij</sub> = teor de sólidos solúveis, medido a partir da curva de maturação, no talhão i no mês j, em kg/caixa;

T<sub>ij</sub> = variável representativa da proporção do talhão i a ser colhida no mês j.

CTOTTR = custo total de transporte, em US\$, sendo que:

$$\text{CTOTTR} = \text{CUT} * \sum_i \text{DIST}_i * \sum_j \text{PRO}_{ij} * T_{ij} \quad (4)$$

onde:

CUT = valor da função custo de transporte, em US\$/caixa/km;

DIST<sub>i</sub> = distância do talhão i à indústria, em km.

CTOTCOLH = custo total de colheita, em US\$, sendo que:

$$\text{CTOTCOLH} = \sum_i \sum_j \text{CUC}_{ij} * \text{PRO}_{ij} * T_{ij} \quad (5)$$

onde:

CUC<sub>ij</sub> = valor da função-custo de colheita, do talhão i, no mês j, em US\$/caixa.

As alternativas para a otimização da função-objetivo, ou seja, as variáveis endógenas propriamente ditas, dirão respeito às combinações possíveis de programação de colheita em época de safra. Por exemplo, se a variável T<sub>ij</sub> valer 1,0, o talhão i deverá ser colhido totalmente no mês j; caso T<sub>ij</sub> valha 0,0, o talhão i não deverá ser colhido no mês j.

Quanto às restrições, podem ser divididas em três grandes grupos, ou seja:

a) Capacidade de processamento da indústria, representada da seguinte forma:

$$\text{PROCME}_j \leq \text{CAP}_j \quad (6)$$

sendo que:

PROCME<sub>j</sub> = processamento a ser efetuado pela indústria em determinado mês j, em caixa, onde:

$$\text{PROCME}_j = \sum \text{PRO}_{ij} * T_{ij} \quad (7)$$

CAP<sub>j</sub> = capacidade de processamento da indústria, em determinado mês j, em caixa;

b) Intervalo de variação para o *Ratio*, representado da seguinte forma:

$$\text{RATIOMIN}_{ij} < \text{RATIO}_{ij} \leq \text{RATIOMAX}_{ij} \quad (8)$$

sendo que:

$$\text{RATIO}_{ij} = (R_{ij} * T_{ij}) \quad (9)$$

$$\text{RATIOMIN}_{ij} = (\text{RMIN}_{ij} * T_{ij}) \quad (10)$$

$$\text{RATIOMAX}_{ij} = (\text{RMAX}_{ij} * T_{ij}) \quad (11)$$

onde:

R<sub>ij</sub> = valor da função *Ratio*, no talhão i, no mês j;

RMIN<sub>ij</sub> = *Ratio* mínimo a ser fixado pela indústria, para o processamento de determinado tipo de suco, a partir da produção do talhão i no mês j;

RMAX<sub>ij</sub> = *Ratio* máximo a ser fixado pela indústria, para o processamento de determinado tipo de suco, a partir da produção do talhão i no mês j.

c) Cronograma de colheita por talhão, representada da seguinte forma:

$$\text{CRONOTAL}_i \leq 1,0 \quad (12)$$

sendo que:

CRONOTAL<sub>i</sub> = cronograma de colheita para o talhão i, em termos de proporção total do talhão i colhido durante a safra, onde:

$$\text{CRONOTAL}_i = \sum_j T_{ij} \quad (13)$$

Um talhão poderá ser colhido então mais de uma vez durante a safra, sem superar, entretanto, o nível de produção esperado para ele.

Portanto, a seguinte estrutura básica de programação de colheita deverá ser modelada:

$$\text{Maximizar } M \quad (14)$$

sujeito a

$$\text{PROCME}_j \leq \text{CAP}_j \quad (15)$$

$$\text{RATIOMIN}_{ij} \leq \text{RATIO}_{ij} \leq \text{RATIOMAX}_{ij} \quad (16)$$

$$\text{CRONOTAL}_i \leq 1,0 \quad (17)$$

Em função do cronograma ótimo a ser obtido a partir da estrutura de modelagem proposta, algumas informações gerenciais podem ser obtidas, através de equações auxiliares que poderão ser incorporadas ao modelo. Assim, as informações sobre receita, custos e quantidades de caixas ou sólidos solúveis, podem ser agrupadas da maneira mais conveniente aos tomadores de decisão. Por exemplo, por talhão, mês a mês, de acordo com a variedade da laranja, e assim por diante.

## APLICAÇÕES DA MODELAGEM PROPOSTA

A estrutura da modelagem proposta será testada em dois níveis distintos, a saber:

a) através de um exemplo protótipo, com o intuito de verificação da lógica da estrutura;

b) através de um exemplo real, em que a estrutura passará por uma análise de sensibilidade a maiores dimensões de modelo, assim como ao desempenho de plataformas computacionais distintas.

### EXEMPLO-PROTÓTIPO

Para ilustrar e eventualmente implementar o modelo proposto, empresas citrícolas foram contactadas no sentido de fornecer os dados considerados como necessários ao processamento do modelo. Assim, os dados utilizados, de carácter meramente ilustrativos, tanto em relação ao porte da empresa quanto ao conteúdo da informação propriamente dita, foram fornecidos gentilmente por empresa citrícola representativa.

O principal resultado a ser obtido a partir do modelo é o cronograma propriamente dito da colheita, a ser representado por todos os  $T_{ij} > 0,0$ , ou seja, em quais meses (j), quais proporções dos talhões (i) devem ser colhidas.

O modelo, codificado na linguagem GAMS, foi processado numa plataforma IBM/AT 386-SX compatível, com co-processor matemático e 4 Mb de memória RAM. A estratégia a ser inicialmente recomendada para a programação de colheita é fixar que cada talhão deverá ser colhido totalmente em um único mês (Cenário A). Em função dessa premissa, as variáveis  $T_{ij}$  podem ser definidas como inteiras, tipo zero-um.

Em vista disso, o modelo foi resolvido por um solucionador de programação linear inteira tipo zero-um, incorporado à linguagem GAMS, denominado ZOOM (SINGHAL et al., 1987), algoritmo que basicamente tem codificada a técnica *branch-and-bound*. O modelo inicialmente processado gerou uma matriz de 369 linhas e 212 colunas, com 1.881 elementos não nulos. Foram realizadas 663 iterações, num tempo de processamento de 5,8 minutos, e com a utilização de 0,45 Mb de memória RAM.

No caso em que não haja necessidade de rigidez quanto à necessidade de colher cada talhão em um único mês (Cenário B), o modelo poderá ser tratado como sendo de programação linear contínua, através do solucionador para programação linear BDMLP (BROOKE et al., 1992), incorporado à linguagem GAMS. Os valores a observar para as variáveis  $T_{ij}$  portanto, dirão respeito à proporção de cada talhão, que deverá ser colhida em determinado mês. Os resultados foram obtidos após 195 iterações, em 36 segundos, com a utilização de 0,28 Mb de memória RAM.

### EXEMPLO REAL

Com o intuito de implementar a estrutura de modelagem proposta através de processamento de conjunto de dados representativos de uma safra completa, foram levantados os dados da safra de 1992 de outra empresa citrícola representativa, correspondentes à produção de 320 fazendas, cujas variedades características foram a Hamlin, a Pêra (em três floradas distintas), além da Natal e da Valência (em duas floradas). A produção processada girou em torno de 7.200.000 caixas, tendo a produtividade média da Hamlin ficado em torno de 3,5 caixas, Pêra com 2,2

caixas/pé, e Natal e Valência com 2,8 caixas/pé. Cada variedade, dependendo da florada, observou curvas de maturação e de *Ratio* distintas, sendo considerado aceitável para o *Ratio* o intervalo entre 13,0 e 16,0. Note-se que os dados de produção de laranja utilizados deixaram implícita uma queda de frutos de 2% ao mês, após o momento em que a fazenda atingisse o *Ratio* 14. O custo de colheita variou de acordo com a produtividade da fazenda e o custo de transporte, de acordo com a produção e distância (no caso, US\$0,004 caixa/quilômetro), estando as fazendas distribuídas em um raio máximo de distância da fábrica de 100 km. A fábrica, por sua vez, tem uma capacidade de processamento estimada em 1.000.000 caixas/mês.

Os dados obtidos, referentes a 320 fazendas, foram estruturados em uma matriz de 5.522 linhas, 2.677 colunas e 46.199 elementos não nulos. Os principais resultados, em termos de características de processamento, encontram-se nas Tabelas 1 e 2.

Tabela 1. Cenário A: resultados comparativos

Solucionador utilizado	Plataforma computacional	Memória requerida	Nº de iterações	Tempo de proc.	Valor da função-objetivo
GAMS/ZOOM	PC-AT 486 DX 66 MHz	8,6 Mb	7002	min 20,2	2,97E + 07
GAMS/OSL	PC-AT 486 DX 66 MHz	10,6Mb	6976	14,9	2,98E + 07
GAMS/CPLEX <sup>(1)</sup>	Est. Trab. SUN Sparc	fl.aplic	8180	22,5	2,96E + 07
GAMS/LAMPS <sup>(2)</sup>	Est. Trab. IBM Risc 6000	fl.aplic.	22994	22,1	3,01E + 07
GAMS/OSL <sup>(3)</sup>	Est. Trab. IBM Risc 6000	10,6 Mb	6141	3,4	2,95E + 07

<sup>(1)</sup> CPLEX é marca registrada, tendo sido desenvolvida por Cplex Optimization, Inc., 7710- Chery Park, Suite 124, Houston TX 77095, USA.

<sup>(2)</sup> OSL é marca registrada, tendo sido desenvolvida por IBM, 41U/276 Neighborhood Road, Kingston, NY 12401, USA.

<sup>(3)</sup> LAMPS é marca registrada, tendo sido desenvolvida por Advanced Mathematical Software, Yukon Court, 4 Yukon Road, London SW12 9PU, England.

Tabela 2. Cenário B: resultados comparativos

Solucionador utilizado	Plataforma computacional	Memória requerida	Nº de iterações	Tempo de proc.	Valor da função-objetivo
GAMS/MINOS <sup>(1)</sup>	PC-AT 386 SX 25 MHz	4,2 Mb	3285	4,25h	3,01E + 07
GAMS/MINOS	PC-AT 486 DX 33 MHz	4,2 Mb	3285	1,87h	3,01E + 07
GAMS/MINOS	PC-AT 486 DX 66 MHz	4,2 Mb	3285	12,2min	3,01E + 07
GAMS/BDMLP	PC-AT 486 DX 66 MHz	10,8 Mb	2804	6,9min	3,01E + 07
GAMS/ZOOM	PC-AT 486 DX 66 MHz	5,6 Mb	5109	11,2min	3,01E + 07
GAMS/OSL	PC-AT 486 DX 66 MHz	5,6 Mb	927	38,1s	3,01E + 07

<sup>(1)</sup> MINOS é marca registrada, tendo sido desenvolvida por MURTAGH et al.

## SIMULAÇÕES

Para efeito de comparação, a estrutura de modelagem proposta foi simulada, com os dados do exemplo real, para diferentes intervalos de *Ratio*, para duas situações distintas:

I) MCX: maximização do total de caixas a serem colhidas;

II) MSS: maximização do total de sólidos solúveis.

Pela Tabela 3, verifica-se que, para a situação I, o total de caixas obtido (TOTCX-MCX) é sempre superior ao de caixas observado na situação II (TOTCX-MSS), com a diferença variando, de acordo com a faixa de *Ratio*, entre 0,16 e 0,75%. Entretanto, essa aparente insignificância na diferença entre os resultados não se confirma quando se verificam as quantidades de sólidos solúveis produzidas, já que as variações chegaram a alcançar

cifras superiores a 6% em favor da situação II, o que fica evidenciado na Figura 2.

Tabela 3. Resultados observados para as simulações das situações I e II

Ratio	14-15	13-16	12-17	11-18	10-19
TOT SS-MSS	1,139	1,825	1,990	2,006	2,017
TOT SS-MCX	1,135	1,777	1,900	1,900	1,900
TOT CX-MCX	4,275	6,703	7,213	7,213	7,213
TOT CX-MSS	4,268	6,660	7,168	7,162	7,159
DIF. % SS	0,35	2,70	4,74	5,58	6,16
DIF. % CX	0,16	0,65	0,63	0,71	0,75

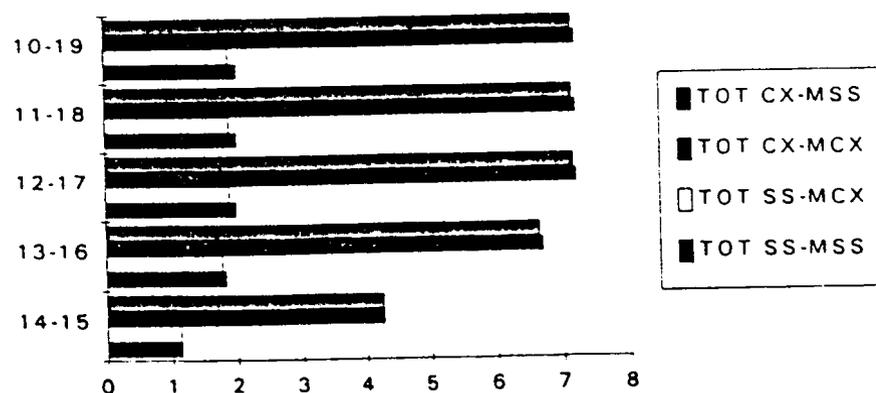


Figura 2. Simulação comparada entre as situações I e II

## CONCLUSÕES

A programação de colheita de laranja é uma fase fundamental no processo de industrialização do suco, principalmente considerando a questão da qualidade do produto final. Nesse sentido, uma série de investigações foi conduzida para levantar e avaliar as características dessa busca pela qualidade, o que não parece uma preocupação evidente para os participantes da agroindústria citrícola. Tal evidência fica clara quando se constata que o modelo de remuneração vigente ao produtor ainda se baseia no pagamento por caixa de laranja, não incorporando critério algum relativo à qualidade do fruto colhido.

A literatura pesquisada é rica em termos de áreas de conhecimento pertinentes ao tratamento de problemas de programação de colheita, particularmente através da proposição de estruturas de modelagem centradas em inteligência artificial e programação linear. Entretanto, as aplicações para laranja não foram identificadas, sendo os exemplos análogos àqueles que dizem respeito à cana-de-açúcar e a *Eucalyptus*.

As avaliações realizadas atestaram que a área de programação linear seria mais competitiva que a inteligência artificial para o embasamento teórico do problema. Em vista disso, foi proposta estrutura de modelagem específica para a programação da colheita de laranja, levando em consideração as virtudes e limitações das estruturas análogas concebidas para outros produtos. Particularmente, buscou-se uma ferramenta de apoio à estrutura de modelagem que fosse compatível a plataformas de pequeno porte e com características de processamento conver-

gente, inclusive para modelos de grande dimensão, e que fosse aberta à incorporação de técnicas de programação matemática até então evitadas por modeladores (tais como a programação inteira), principalmente devido ao alegado baixo desempenho.

Em vista disso, optou-se pela linguagem de modelagem GAMS, que tem a característica de incorporar uma série de algoritmos alternativos para a solução de problemas de programação linear, inteira e não linear. Resultados bastante animadores foram verificados, como, por exemplo, o processamento de matriz de 5.522 linhas, 2.677 colunas e 46.199 elementos não nulos, em um microcomputador 486 DX 66 MHz, em um tempo inferior a 40s. Certamente, trata-se de uma alternativa para processamento acessível, em função de seu baixo custo de investimento, e praticamente nulo custo operacional.

Portanto, é viável a utilização dessa ferramenta para a programação de colheita de laranja, o que proporcionará aumento na qualidade do suco a ser produzido. Dado que a competitividade da empresa citrícola é função direta do nível de controle de qualidade exercido sobre o processo como um todo, isto é, desde a escolha da variedade de citros a ser plantada até a forma com que o suco chega ao consumidor final, será fundamental a prática de planejamento contínuo, em seus mais diversos níveis, passando principalmente pela programação da colheita. Ressalte-se que essa preocupação com a qualidade do fruto a ser colhido aumentará, com certeza, a partir do momento em que o modelo de remuneração ao produtor começar a levar em consideração os diferentes níveis de produtividade observados nos pomares.

Reforce-se que ainda não se encontram transparentes as técnicas pelas quais as indústrias se orientam no planejamento da colheita. A literatura na área também não oferece muitas alternativas nesse sentido, sobretudo levando-se em conta a necessidade de ferramentas amigáveis e processáveis em plataformas computacionais de pequeno porte.

A contribuição principal deste trabalho, assim, diz respeito à estruturação de modelo para a programação de colheita de laranja, amparando-se basicamente sobre a teoria de programação matemática, e já incorporando informações sobre a maturação dos frutos, através de índices, tais como Brix e *Ratio*, os quais, por sinal, se mostraram extremamente adequados.

Algumas limitações, entretanto, devem ser destacadas, para que novos estudos possam ser elaborados com o intuito de minimizá-las. Uma delas é a questão da confiabilidade das informações sobre as características químicas e biológicas dos frutos, assim como as funções de custo de transporte e de colheita. Essa precisão deverá ser sempre procurada através de cuidadoso planejamento de amostragem de dados de pomares, para que as equações correspondentes possam ser efetivamente estimadas e validadas.

A validação é também um cuidado contínuo que deve ser dado à estrutura do modelo, o que será facilitado a partir do momento em que as empresas, ou os próprios produtores, se disponham a discutir as características do processo modelado neste trabalho e que, porventura, na prática, ainda não tenham sido incorporadas. Isso, provavelmente, facilitará a opção pela implementação ou não do modelo em si.

Finalmente, vale lembrar que a necessidade de ajustes na estrutura de programação da colheita em si se justifica plenamente, dado que o ganho em eficiência, em termos de competitividade no mercado internacional, não será mais marginal, o que certamente resultará em aumento de divisas para o setor, assim como para o País como um todo.

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARATA, M.Q.F. Otimização econômica do corte e reforma de canaviais. Piracicaba, ESALQ, 1993. 153p. Dissertação (Mestrado em Agronomia).

BOCAIUVA, J.R.; RODRIGUES, I.F. & NINA, L.D. Comercialização e custos x estratégia do citricultor para a negociação com as indústrias. Laranja, Cordeirópolis, 12(1):29-48, 1991.

BROOKE, A.; KENDRICK, D. & MEERAUS, A. GAMS: a user's guide, release 2.25. The Scientific Press, 1992. 289p.

CAMPANELLI, R. & BOCAIUVA, J.R. Comercialização da laranja entre produção e indústria. Laranja, Cordeirópolis, 10(1): 217-232, 1989.

DIGIORGI, F. Exaustão do modelo de remuneração na citricultura. Laranja, Cordeirópolis, 12(1):95-115, 1991.

DIAS, G.B.N.; SCHMIDT, M.B.; ROSSI, A.M.; TAUBE NETTO, M. & LOPES, T.L. Planejamento Florestal Integrado - PLANFLOR. CVRD - Companhia Vale do Rio Doce. Revista, 5(15):35-50, 1984.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (FAO). The longer term outlook for citrus fruit productions. 9 ed. Havana, Intergovernmental Group on Citrus Fruit, 1991. 17p.

GUALDA, N.D.F. & TONDO, C.M. A large l.p. model for sugarcane crop planning. Paper presented in TIMS XXX - SOBRAPO XXIII Joint International Meeting, Rio de Janeiro, July 15-17, 1991. 7p.

HALPERN, D. & ZUR, A. Total soluble solids in citrus varieties harvested at various stages of ripening. In: INTERNATIONAL CITRUS CONGRESS, 6., Tel Aviv, March 6-11, 1988. Proceedings. Balaban Publishers, 1988. p. 1777-1783.

LOTT, R.V. The terminology of fruit maturation and ripening. Proceedings of the American Society for Horticultural Science, 46:166-173, 1945.

MARCHI, R.J. Determinação das curvas de maturação da laranja "pera" na região de Bebedouro, SP. Jaboticabal, FCAV, 1993. 129p. Dissertação (Mestrado em Agronomia).

MATA, J.P. Aspectos positivos e negativos da citricultura paulista. Laranja, Cordeirópolis, 10(1):147-155, 1989.

NEVES, E.M.; ANDIA, L.H.; NEVES, M.F. & BARROS, S.S. Economia da produção citrícola: competitividade sob o enfoque de custos e investimentos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ECONOMIA E SOCIOLOGIA RURAL, 30., Rio de Janeiro. Anais, SOBER, 1992. v. 2, p. 525-537.

PETTO NETO, A. & POMPEU JR., J. Colheita, beneficiamento e embalagem da laranja. In: RODRIGUEZ, O; VIEGAS, F.; POMPEU JR., J. & AMARO, A.A. Citricultura brasileira. 2.ed. Campinas, Fundação Cargill, 1991. p. 892-897.

SHARDA, R. Linear programming software for personal computers: 1992 Survey. OR/MS Today, June 1992. p. 44-60.

SINGHAL, J.; MARSTEN, R.E. & MORIN, T. Fixed order branch-and-bound methods for mixed-integer programming: the ZOOM system. Working Paper, Management Information Science Department, The University of Arizona, Tucson, December, 1987.

STEGER, E. 30 anos de desenvolvimento em processamento de citros. Laranja, Cordeirópolis, 11(2):463-502, 1990.

VIEGAS, F. A industrialização dos produtos cítricos. In: RODRIGUEZ, O.; VIEGAS, F.; POMPEU JR., J. & AMARO, A.A. Citricultura brasileira. 2. ed. Campinas, Fundação Cargill, 1991. p. 898-921.

## CITROS: ESTIMATIVA DE CUSTOS DE PACKING-HOUSE NA SAFRA 1992/93

RICARDO BERTONI POMPEU <sup>(1)</sup> e EVARISTO M. NEVES <sup>(1)</sup>

### RESUMO

Este estudo estima os custos de colheita e beneficiamento de frutas frescas em casas de embalagem na região de Limeira (SP). O processo de determinação dos custos seguiu os mesmos métodos usados por pesquisadores da Flórida. Na safra 1992/93, o custo médio de embalagem de uma caixa de 40,8 kg foi, respectivamente, de US\$0,76 (Limeira) e US\$0,94 (Flórida). Devido ao pequeno número (quatro) de *packing-houses* que colaboraram com o estudo, as deficiências nas informações disponíveis e as diferenças de tamanho e de administração dos *packing-houses*, os custos obtidos podem não representar com fidelidade o que ocorre em todo o Estado de São Paulo.

### SUMMARY

#### ESTIMATED COST OF PACKING-HOUSE CITRUS 1992/93 SEASON

This study estimates packing-house cost to Limeira Region (São Paulo State, Brazil) and compare them with costs for packing Florida fresh citrus. A total of four

<sup>(1)</sup> ESALQ/USP - Caixa Postal 9 - 13418-900 Piracicaba (SP).