

ARTIGO TÉCNICO

UTILIZAÇÃO DA PROGRAMAÇÃO LINEAR PARA PLANEJAMENTO AGRÍCOLA EM PROPRIEDADE DA REGIÃO CENTRO-OESTE

TONIELLO, Bruno Luis⁽¹⁾

CAIXETA FILHO, José Vicente⁽²⁾

Para um proprietário de terras, que explore a agropecuária, ter sucesso num país como o Brasil (onde a instabilidade econômica impera, há falta de uma política agrícola determinada, que não mude a cada safra levando incertezas ao campo, etc.), ele deve ter, entre outros atributos, competitividade e eficiência, reduzindo custos de produção mas mantendo a qualidade dos produtos. Possuirá assim chances de sobreviver a revezes, ganhando mercados e obtendo maiores lucros.

Sem dúvida, a Pesquisa Operacional é uma teoria de altíssimo valor quando se trata de buscar tais características. O campo conta hoje com inúmeras técnicas (incorporadas em diversos "Softwares") que auxiliam na otimização do desenvolvimento tecnológico das propriedades. Elas podem controlar o uso racional de agrotóxicos (inseticidas, herbicidas, etc.), gerenciar rebanhos leiteiros, fazer a contabilidade da propriedade, calcular rações de custo mínimo, etc..

Para um problema de planejamento agrícola, o uso da programação linear (uma das técnicas de Pesquisa Operacional), por exemplo, propicia a busca, através de dados apurados antecipadamente, da melhor alternativa para aquele momento, ou seja, quais atividades explorar naquele ano agrícola. Cabe ao produtor, de posse dos relatórios emitidos pelo "Software", considerar outros fatores não inerentes à programação linear e tomar a decisão após detalhada análise.

Entre os Aplicativos disponíveis no mercado, para tal fim, pode-se citar o LP88 (EARSTERN SOFTWARE PRODUCTS. LP88 - Version 7.03), para programação linear genérica, e o MILP88 (EARSTERN SOFTWARE PRODUCTS. MILP88 - Version 7.11), de mesmas características, diferenciando-se basicamente por ser apto a trabalhar com programação linear inteira ou mista.

Ambos foram desenvolvidos em linguagem Turbo Pascal, podendo operar em microcomputadores IBM-PC (ou compatíveis) que utilizem o sistema MS-DOS (qualquer versão). É amplamente utilizado na solução de sistemas com a seguinte estrutura:

(1) Acadêmico do curso de Eng. Agrônoma e estagiário do GEP/DESR

(2) Professor orientador do DESR/ESALQ/USP

Maximizar (ou minimizar) $Z = a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_nx_n$

sujeito a

$$b_{11}x_1 + b_{21}x_2 + \dots + b_{n1}x_n < RHS_1$$

.

.

$$b_{1m}x_1 + b_{2m}x_2 + \dots + b_{nm}x_n < RHS_m, \text{ onde}$$

Z é a função objetivo a ser otimizada, sujeita a m restrições, sendo a_1, a_2, \dots, a_n ; $b_{11}, b_{21}, \dots, b_{nm}$ constantes, $RHS_1, RHS_2, \dots, RHS_m$ as limitações por restrição, e x_1, x_2, \dots, x_n , as variáveis de decisão propriamente ditas.

No caso do LP88, existe uma capacidade de resolução de uma estrutura com até 800 restrições e 4000 variáveis. É inteiramente controlado por menus (um principal e quatro secundários), que permitem selecionar facilmente as opções desejadas.

Como exemplo de aplicação será considerada a região Centro-Oeste, sendo que as atividades a serem comparadas foram abordadas por CAIXETA FILHO & TONIELLO (1991 a, b, c, d). São elas as culturas de soja e algodão, avicultura de corte e pecuária de corte (setores de cria, recria e engorda), sendo ainda incluída a cultura do milho para o exemplo. Além disso, para maior facilidade de exposição, será considerada uma propriedade fictícia com as seguintes características:

- área total - 500 ha
- reservas florestais - 100 ha
- áreas com declive > 20% - 80 ha
- benfeitorias - 1 ha
- estradas - 4 ha
- aguadas - 5 ha

Vários são os dados necessários para a estruturação do problema. Entre eles, podem ser citados:

- gastos com insumos (adubos, sementes, etc.);
- gastos com controle de pragas, invasoras, etc.;
- rendimento da cultura (Kg/ha);
- custo do transporte;
- depreciação de máquinas;
- limite de crédito de custeio;
- preço de mercado (pago ao produtor), na época da comercialização, etc.

Definiu-se, assim, como sendo a receita a função objetivo, que deverá ser maximizada. Em termos de restrições, deverão ser levadas em consideração as pertinentes aos custos de produção por área por atividade, área limite a ser usada, época de comercialização como determinante de preços, etc..

Assim, os seguintes dados específicos foram utilizados:

a) custo de produção apurado para as atividades:

- soja US\$ 246,96/ha
- milho US\$ 417,24/ha
- algodão US\$ 536,25/ha
- cria US\$ 70,52/ha
- recria US\$ 250,26/ha
- engorda US\$ 284,22/ha
- frango US\$ 1589,86/ha

b) receita esperada em cada atividade:

- soja US\$ 431,83/ha
- milho US\$ 527,06/ha
- algodão US\$ 622,82/ha
- cria US\$ 119,62/ha
- recria US\$ 344,95/ha
- engorda US\$ 362,23/ha
- frango US\$ 1661,70/ha

c) restrições

c1) crédito máximo por atividade junto a Instituições Financeiras:

- soja US\$ 46.000,00
- milho US\$ 77.000,00
- algodão US\$ 95.000,00
- cria US\$ 13.000,00
- recria US\$ 37.000,00
- engorda US\$ 35.000,00
- frango US\$ 120.000,00

c.) áreas máximas:

- Total de exploração 310 ha
- Para cultivo de soja, milho e algodão 310 ha
- Para exploração de cria 310 ha
- Para exploração de recria 250 ha
- Para exploração de engorda 210 ha
- Para exploração de frango 125 ha

Como restrição de crédito, considerou-se que 60% do custo total de produção, por atividade, seria conseguido na forma de financiamento. Já as restrições referentes às áreas, são devidas a fatores como mecanização. No caso, culturas de milho, soja e algodão, as áreas disponíveis serão função da declividade do local. Para a atividade pecuária, no entanto, as áreas serão restringidas pela lotação de pasto em UA/ha, sendo uma UA (unidade animal) equivalente a 450 Kg de peso vivo do animal. Para a Avicultura, especificamente, deverá ser levada em consideração a distância obrigatória entre galpões.

Esses dados já seriam suficientes para obter os relatórios de análise de sensibilidade emitidos pelo Aplicativo. Entretanto deve ser lembrado, no momento da decisão, de outros fatores importantes, tais como fretes (um dos maiores contribuintes para o declínio do cultivo de soja no Centro-Oeste), mercado do produto nas regiões próximas, mercado externo, etc., os quais não foram incorporados à estrutura do modelo proposto.

Após a entrada dos dados, observa-se a seguinte tela:

GEP/91		OBJECTIVE: MAX					VARIABLES: 7		DATE 11-23-1991
BASIS: NOME		CONSTRAINTS: 15					SLACKS: 15		TIME 14:17:38
MAX	soja	milho	algod	cria	recria	engor	frang	RHS	
RETURN	431.8	527.1	622.8	119.6	345.0	362.2	1662	.000000	
maxato	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	<= 310.000	
maxcso	247.0							<= 46000.0	
maxcmi		417.2						<= 77000.0	
maxcal			536.3					<= 95000.0	
maxccr				70.52				<= 13000.0	
maxcre					250.3			<= 37000.0	
maxcen						284.2		<= 35000.0	
maxcfr							1590	<= 120000	
maxaso	1.000							<= 310.000	
maxami		1.000						<= 310.000	
maxaal			1.000					<= 310.000	
maxacr				1.000				<= 310.000	
maxare					1.000			<= 250.000	
maxaen						1.000		<= 210.000	
maxafr							1.000	<= 125.000	

Trata-se, portanto, de uma matriz de inequações lineares, onde as colunas representam as opções de exploração, e as linhas, as restrições que cada uma delas sofre. Ainda, na linha RETURN, tem-se a função objetivo, no caso maximizada e representando a receita esperada por exploração.

Já na próxima tela, representada a seguir, uma vez acionado o Aplicativo para que se resolva o problema, aparecerá a solução ótima indicando o nível (quantidade) com que cada exploração contribui para maximizar a receita.

GEP/91	SOLUTION IS OPTIMAL				DATE 11-23-1991	TIME 14:21:30			
MAXIMUM	ENTERS: milho			BASIS X: 3		VARIABLES: 7			
PIVOTS: 3	LEAVES: S.1			BASIS S: 12		SLACKS: 15			
LAST INV: 0	DELTA 527.1000			RETURN 266006.1		CONSTRAINTS: 15			
BASIS	milho	S.2	S.3	algod	S.5	S.6	S.7	frang	S.9
S.10	S.11	S.12	S.13	S.14	S.15				
PRIMAL	57.389	46000	53057	177.14	13000	37000	35000	75.472	310.00
252.61	132.86	310.00	250.00	210.00	49.528				
DUAL	527.10	.00000	.00000	.17844	.00000	.00000	.00000	.71377	.00000
.00000	.00000	.00000	.00000	.00000	.00000				

No caso, foram consideradas como variáveis básicas as atividades milho, algodão e frango, com as respectivas áreas de ocupação de 57,39, 177,14 e 75,47 ha.

Quanto aos relatórios sobre a análise de sensibilidade dos resultados, o principal objetivo é transmitir uma idéia de possíveis alterações nas explorações, indicando o que ocorreria e como a solução ótima seria alterada. Por exemplo:

a) O relatório PRIMAL sobre variáveis (Tabela 1), além de mostrar quais explorações foram utilizadas, mostra como seria alterada a solução ótima (preço-sombra) se uma unidade da exploração não usada fosse utilizada. Por exemplo, o ótimo estaria reduzido em 95,30 unidades para cada unidade de soja que fosse utilizada.

Tabela 1. Relatório Primal Sobre Variáveis

GEP/91	SOLUTION IS MAXIMUM		RETURN	266006.0957	DATE: 11-23-1991
	PRIMAL PROBLEM SOLUTION				TIME: 14:51:36
VARIABLE	STATUS	VALUE	RETURN/UNIT.	VALUE/UNIT.	NET RETURN
soja	NONBASIS	.0000000	431.80000	527.10000	-95.300000
cria	NONBASIS	.0000000	119.60000	527.10000	-407.50000
milho	BASIS	57.388641	527.10000	527.10000	.00000000
recria	NONBASIS	.0000000	345.00000	527.10000	-182.10000
algod	BASIS	177.13966	622.80000	622.80000	.00000000
engor	NONBASIS	.0000000	362.20000	527.10000	-164.90000
cria	NONBASIS	.0000000	119.60000	527.10000	-407.50000
frang	BASIS	75.471698	1662.0000	1662.0000	.00000000

b) O RELATÓRIO DUAL SOBRE RESTRIÇÕES (Tabela 2), mostra se ainda há possibilidade de uso da exploração, analisando o RHS de cada restrição. Por exemplo, foram usadas 75.47 unidades em 125 possíveis no caso de frango, enquanto que para a soja não houve folga.

Tabela 2. Relatório Dual Sobre Restrições

GEP/91	SOLUTION IS MAXIMUM	RETURN	266006.0957	DATE	11-23-1991
	DUAL PROBLEM SOLUTION			TIME	14:25:53
CONSTRAINT	STATUS	DUAL VALUE	RHS VALUE	USAGE	SLACK
maxato	BINDING	527.10000	310.00000	310.00000	.00000000
maxami	NONBINDING	.00000000	310.00000	57.388641	252.61136
maxaal	NONBINDING	.00000000	310.00000	177.13966	132.86034
maxafr	NONBINDING	.00000000	125.00000	75.471698	49.528302

c) O RELATÓRIO DE ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DA FUNÇÃO OBJETIVO (Tabela 3), mostra o intervalo de variação dos coeficientes de custo na função objetivo, para cada exploração, no qual ela ainda faria parte da solução ótima, porém participando com outro nível de custo. O milho, por exemplo, continuará na solução enquanto seu custo por ha estiver variando de US\$ 431.80 a US\$ 622.80.

Tabela 3. Relatório da Análise de Sensibilidade da Função Objetivo

GEP/91	SOLUTION IS MAXIMUM	RETURN	266006.0957	DATE	11-23-1991
	OBJECTIVE ROW RANGES			TIME:	14:35:38
VARIABLE	STATUS	VALUE	RETURN/UNIT	MINIMUM	MAXIMUM
soja	NONBASIS	.00000000	431.80000	NONE	527.10000
milho	BASIS	57.388641	527.10000	431.80000	622.80000
algod	BASIS	177.13966	622.80000	527.10000	NONE
crla	NONBASIS	.00000000	119.60000	NONE	527.10000
recria	NONBASIS	.00000000	345.00000	NONE	527.10000
engor	NONBASIS	.00000000	362.20000	NONE	527.10000
frang	BASIS	75.471698	1662.0000	527.10000	NONE

d) O RELATÓRIO DE ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DOS RHS (Tabela 4), mostra a faixa de variação dos preços-sombra das restrições. Por exemplo, o preço-sombra associado à área total (US\$ 527,10) será válido enquanto o RHS correspondente estiver entre 252.61 e 437.17. Em outras palavras, enquanto a área total disponível estiver entre 252.6 e 437.1, qualquer acréscimo unitário (em ha) à propriedade acarretará num lucro-extra de US\$ 527,10.

Tabela 4. Relatório de Análise de Sensibilidade dos RHS

GEP/91	SOLUTION IS MAXIMUM	RETURN	266006.0957	DATE	11-23-1991
	RIGHT-HAND-SIDE RANGES			TIME:	14:37:06
CONSTRAINT	STATUS	DUAL VALUE	RHS VALUE	MINIMUM	MAXIMUM
maxato	BINDING	527.10000	310.00000	252.61136	437.17512
maxami	NONBINDING	.00000000	310.00000	57.388641	NONE
maxaal	NONBINDING	.00000000	310.00000	177.13966	NONE
maxafr	NONBINDING	.00000000	125.00000	75.471698	NONE

De posse destes relatórios, o produtor pode acompanhar possíveis alterações nos custos de insumos, custo/hora de máquinas, preço de mercado etc., até o momento da decisão, buscando a melhor alternativa possível.

Este exemplo, apesar de isolado, mostra o grande auxílio que a Pesquisa Operacional pode fornecer em se tratando de decisões, onde errar pode custar muito caro.

Caso o objetivo seja verificar a viabilidade de implantação de um projeto com Taxa Interna de Retorno esperada, uma área limitada previamente definida, limite para investimento, Fluxo de Caixa esperado etc., sem dúvida a utilização da Programação linear constitui-se em ferramenta para tal fim.

Vale lembrar que o bom andamento da exploração, não depende somente dessa ferramenta, pois esta não prevê intempéries do tipo geadas, veranicos, má distribuição de insumos, etc.. O produtor, no entanto, deve estar atento, procurar assessoria técnica, acompanhar mudanças no mercado e fazer o melhor uso possível dos instrumentos que dispõe.

LITERATURA CITADA

- CAIXETA FILHO, J.V. & TONIELLO, B.L. Perspectivas Agropecuárias no Centro Oeste, Informe - GEP/DESR/, Piracicaba, SP, 4(3/4): março/abril 1991, pg. 16-18 (a).
- CAIXETA FILHO, J.V. & TONIELLO, B.L. Centro-Oeste, Soja ou Algodão?, Informe - GEP/DESR/, Piracicaba, SP, 4(6): junho 1991, pg. 1-3 (b).
- CAIXETA FILHO, J.V. & TONIELLO, B.L. Centro-Oeste, cabe Frango?, Informe - GEP/DESR/, Piracicaba, SP, 4(7): julho, 1991, pg. 1-3 (c).
- CAIXETA FILHO, J.V. & TONIELLO, B.L. A Pecuária de Corte no Centro-Oeste, Informe - GEP/DESR/, Piracicaba, SP, 4(9): setembro 1991, pg. 6-8 (d).
- CAIXETA FILHO, J.V. Pesquisa Operacional Aplicada à Agropecuária, Série Didática no 65, DESR/ESALQ/USP, Piracicaba, SP, 1991
- EARSTERN SOFTWARE PRODUCTS. LP88 - Version 7.03 - Users Manual, Alexandria, Esp, 1987
- EARSTERN SOFTWARE PRODUCTS. MILP88 - Version 7.11 - Users Manual, Alexandria, Esp, 1988
- INFORME - GEP/DESR 5 (03): 01-07, março - 1992