

Maximização do Lucro na Produção de Carvão Vegetal: estudo com Abordagem da Pesquisa Operacional

Marcelino Serretti Leonel

Doutorando em Economia (UFMG)
Mestre em Economia Empresarial (UCAM)
Professor assistente (UFVJM)
Email – mserretti@gmail.com

Kepler Wolff Keller

Graduado em Administração de Empresas
(UFVJM)
E-mail: wolffkeller@yahoo.com.br

114

Resumo: A busca de melhores resultados financeiros nas organizações, constitui-se numa oportunidade para aplicar conhecimentos adquiridos ao longo do curso de Administração de Empresas. A produção de carvão vegetal na Madeireira Reflorestar surgiu como forma de limpeza da área de produção da empresa, uma vez que os resíduos de madeira se acumulam rapidamente. Com o aumento da demanda do carvão, fez-se necessário aumentar a produção por meio da compra de matéria prima externa, na forma de lenha de eucalipto. As diferentes matérias primas empregadas no processo resultam em carvão com qualidades distintas de peso e volume. Por meio do levantamento dos dados, dentro da produção de carvão vegetal da empresa em questão, foi possível observar as necessidades de venda do produto frente aos clientes para elaboração das restrições e, enfim, realizar os cálculos de otimização e a análise de sensibilidade utilizando o programa LINDO (*Linear, Interactive, and Discrete Optimizer*). A solução indicada pelo programa remete a uma produção que otimizará o lucro da carvoaria instalada na Madeireira Reflorestar da ordem de R\$ 7.674,25 (sete mil seiscentos e setenta e quatro reais e vinte e cinco centavos). Este, entretanto, não é o maior lucro mensal que a empresa pode atingir, tendo em vista sua capacidade produtiva e os melhoramentos cabíveis na produção de seu carvão vegetal.

Palavras-chave: pesquisa operacional; otimização; carvão vegetal; carvoaria.

Abstract: The search for improved financial results in organizations constitutes an opportunity to apply knowledge acquired during the course of Business Administration. The production of charcoal in Madeireira Reflorestar emerged as a way of cleaning the area's production of the company, since the wood waste pile up quickly. With increasing demand for charcoal, it was necessary to increase the production by purchasing foreign raw materials in the form of eucalyptus wood. The different raw materials used in the process resulted in different charcoal qualities (volume and weight). A survey of data within the charcoal production in the present company addressed the needs of selling of the product to customers, helped to prepare the restrictions and finally perform optimization calculations with sensitivity analysis using the software LINDO (*Linear, Interactive, and Discrete Optimizer*). The solution indicated by the program refers to a production that will optimize the profit of the coal bunker installed at Madeireira Reflorestar of R\$ 7,674.25 (seven thousand six hundred seventy-four reais and twenty five cents). This, however, is not the biggest monthly profit the company can achieve in view of its productive capacity and reasonable improvements in the production of their charcoal.

Keywords: operational research, optimization, charcoal, charcoal production.

Introdução

A busca de melhores resultados financeiros nas organizações, constitui-se numa oportunidade para aplicar conhecimentos adquiridos ao longo do curso de Administração de Empresas. A aplicabilidade desses conhecimentos deve ser útil em apoiar a decisão e contribuir cientificamente na gestão organizacional das empresas, tornando-as mais competitivas. A Pesquisa Operacional (PO) vem contribuir significativamente no objeti-

vo de oferecer ferramentas que norteiem as ações na busca do melhor resultado.

A Madeireira Reflorestar é uma empresa que atua no ramo de fornecimento de madeiras para construção civil, disponibilizando caibros, linhas, pranchas, ripas, ripões, entre outros, confeccionados com madeiras de diversas espécies e procedências, principalmente o eucalipto.

As sobras de eucalipto serrado (casqueiros¹) são utilizadas na produção de carvão vegetal, como alternativa de aproveitamento de materiais que eventualmente não seriam vendidos. Além da função de aproveitamento de materiais, a produção de carvão vegetal na Madeireira Reflorestar surgiu como forma de limpeza da área de produção, uma vez que os resíduos de madeira se acumulam rapidamente. Com o aumento da demanda do carvão, fez-se necessário aumentar a produção através da compra de matéria prima externa, na forma de lenha de eucalipto. As diferentes matérias primas empregadas no processo resultam em carvão com qualidades distintas de peso e volume, todavia têm o mesmo custo por metro cúbico para a carvoaria.

A Pesquisa Operacional é o ramo do conhecimento que fornece um conjunto de procedimentos que auxiliam o trabalho e a solução de problemas relacionados à otimização na utilização de recursos, ao lidar principalmente com a escassez dos mesmos e com a maximização de lucro.

Para Pinto (2008, p. 15), problema é o que provoca a irregularidade no funcionamento do sistema. Quando o problema é identificado, o analista sabe o que deve ser resolvido, identifica as variáveis mais significativas e as menos significativas, despreza as últimas e considera as primeiras para elaborar o modelo matemático. A empresa tem um problema a resolver, deseja maximizar o lucro na produção de carvão com as matérias primas acima referidas.

Identificadas as variáveis de decisão significativas, pode-se desenvolver um modelo de representação simplificada do problema. Sendo assim o gestor poderá resolvê-lo utilizando-se do *software* LINDO (*Linear, Interactive, and Discrete Optimizer*), como no caso deste trabalho.

115

Revisão de literatura

Serraria: conceito e aspecto histórico

Existem indícios de que os egípcios, 6000 anos antes de Cristo já utilizavam serras de bronze para serrar madeira. Mais tarde, com o domínio da tecnologia de fundição do ferro, os romanos desenvolveram uma serra alternativa manual, eventualmente, movida por roda d'água (WILLINSTON, 1976 apud BATISTA, 2006, p. 7).

A definição da palavra serraria, de acordo com o dicionário Michaelis, é o estabelecimento industrial aparelhado para serrar toros; engenho de serra, enquanto a palavra madeireira, segundo o mesmo dicionário, é a "empresa ou estabelecimento comercial que se dedica ao comércio e indústria de madeiras". Neste trabalho utilizaremos ambas as palavras para referir ao mesmo estabelecimento industrial.

Em geral, as serrarias possuem uma grande abrangência quanto ao foco do negócio. Podem trabalhar de forma a proporcionar um material sem acabamento fino, voltado principalmente para a construção civil, ou atender a pedidos mais elaborados como a confecção de móveis e utensílios. Os produtos que mais atendem à construção civil são os caibros, ripas, ripões, linhas de diversas bitolas, taboas, pranchas entre outros.

O tipo de madeira é também grande influenciador no produto-foco destes estabelecimentos. Árvores de eucalipto, por exemplo, são mais frequentemente destinadas à construção civil.

Sobras de Serraria

Na indústria madeireira, de quarenta e cinco a sessenta e cinco por cento da tora são desperdiçados, transformando-se em resíduo não aproveitado. A Legislação Brasileira aponta a auto-responsabilidade das empresas na remoção, estocagem e tratamento de resíduos gerados pelos processos de produção, a partir de procedimentos adequados para a conservação do meio ambiente (LEEUEWSTEIN, 2001 *apud* FEITOSA, 2003).

Para Feitosa (2003), o termo resíduo de madeira por muitas vezes é associado à palavra problema, pois geralmente sua disposição ou utilização adequada gera custos altos e indesejáveis. Porém, ainda segundo o autor, o conhecimento da quantidade, da qualidade e das possibilidades de uso deste material pode gerar alternativas de uso que viabilizem o seu manuseio. Encontrar alternativas que sejam econômicas e ambientalmente viáveis para as sobras de madeira é, portanto, um desafio para as serrarias de um modo geral.

Eucalipto

De acordo com Passos (2003), a prática do cultivo de árvores com culturas agrícolas é bastante antiga, por meio do qual se procura obter os efeitos benéficos das estruturas florestais. Para Morais-Filho (2004) as florestas plantadas proporcionaram à região um crescimento econômico significativo, gerando novos empregos e aumentando a renda dos produtores rurais e das demais pessoas envolvidas.

As florestas plantadas de diversas espécies e demais recursos florestais brasileiros exercem várias funções. Dessa forma, Rodrigues afirma que

116

além de produzir matéria prima para importantes e estratégicos segmentos industriais nacionais, o setor florestal brasileiro, pela função que exerce no equilíbrio dos ecossistemas naturais e como fonte de biodiversidade, também oferece serviços ambientais insubstituíveis (2002, p. 1).

O eucalipto foi introduzido no Brasil em 1904 com o objetivo de suprir as necessidades de lenha, postes e dormentes das estradas de ferro, na região Sudeste. Na década de 50, passou a ser usado como matéria prima no abastecimento das fábricas de papel e celulose (DOSSA *et al.* 2002).

Apresentando-se como uma espécie vegetal de rápido crescimento e adaptada para as situações edafo-bioclimáticas² brasileira, o eucalipto teve um crescimento expressivo durante o período dos incentivos fiscais, nas décadas de 60, 70 e perdurou até meados dos anos 80. Esse período foi considerado um marco na silvicultura brasileira, dado os efeitos positivos que gerou no setor (DOSSA *et al.* 2002).

As plantações florestais têm uma participação significativa na economia regional, envolvendo desde grandes empresas até pequenos produtores, com isso, surgem oportunidades para os proprietários rurais que desejam explorar adequadamente plantios florestais, criando novas e valiosas opções de mercado e o aumento da receita em sua propriedade sendo assim as florestas plantadas de eucalipto são responsáveis pelo abastecimento de matéria prima para vários setores, na produção de celulose, serrarias (madeiras para construção civil de baixo valor agregado), nas carvoarias (como matéria prima para produção de carvão vegetal), em fazendas (principalmente como postes para cerca), dentre outros. As características de floresta renovável e de rápido crescimento (sete anos para o primeiro corte) são atrativos para o investimento neste tipo de cultura (LEONEL, 2007).

Carvão Vegetal

No processo de produção de carvão, utiliza-se calor. A ação do calor sobre a madeira, que é um material predominantemente orgânico, implica na sua total degradação. Temos como consequência o surgimento de uma pequena fração residual que é denominada de “cinzas”, e que correspondem aos elementos minerais quantitativamente minoritários originalmente presentes na madeira. Este fenômeno é denominado genericamente de “pirólise” ou “termodegradação” da madeira (BRITO, 1990).

A pirólise da madeira é um dos fenômenos mais antigos de que se tem conhecimento, e através da sua aplicação controlada, tem sido possível a obtenção de uma série de produtos benéficos ao homem. O carvão vegetal é um deles (BRITO, 1990).

O carvão vegetal é obtido na pirólise mediante a ação do calor que elimina a maior parte dos componentes voláteis da madeira. Vem daí o nome que muitas vezes se dá ao processo de “destilação seca da madeira”. Durante o processo ocorre uma Concentração de Carbono no carvão vegetal. Vem daí outro termo usado para a identificação do processo que é a “carbonização da madeira”. Essa concentração de Carbono ocorre graças à eliminação da maior parte do Hidrogênio e Oxigênio da madeira (BRITO, 1990).

No Brasil, maior produtor mundial de carvão vegetal do mundo -, esse produto é usado principalmente na indústria como agente redutor e fonte de energia na fabricação de ferro-gusa e aço. Quantidades bem menores de carvão vegetal são usadas no setor residencial para a cocção de alimentos, principalmente em regiões rurais, além de ser comercializado como carvão vegetal para churrasco (GÓMES, 2010).

A maior proporção do carvão vegetal brasileiro ainda é obtido da mesma forma como era séculos atrás, com tecnologia antiga, com pouco controle operacional dos fornos de carbonização, e muito pouco se pratica em termos de controle qualitativo e quantitativo da produção (PAINEL FLORESTAL).

Joaquim (2009) aponta que o consumo de carvão vegetal de origem nativa passou de 16,9 milhões de MDC (Metro Cúbico de Carvão – unidade de medida equivalente à quantidade de carvão que pode ser contida em um metro cúbico) em 1980 (86% do total consumido), para 6,0 milhões de MDC em 2009 (29,8%) e o consumo de carvão originário de florestas plantadas saltou de 2,8 milhões de MDC, em 1980 (14%), para 14,1 milhões de MDC, em 2009 (70,2%).

A Madeireira Reflorestar produz 100% do seu carvão vegetal com matéria prima oriunda de florestas plantadas, garantindo o aspecto renovável do negócio.

Tipos de Fornos

Atualmente, em algumas carvoarias, a origem da matéria-prima é insustentável devido à utilização da madeira oriunda da floresta nativa, que em grande parte é ilegal. O processo tradicional de produção do carvão vegetal é feito com fornos que parecem iglus, os chamados fornos “rabo-quente” – RQ. Eles não recuperam os voláteis - fumaça que sai do forno com a queima da madeira-, e a liberam na atmosfera como poluentes.

Existem outros tipos de fornos para produção de carvão vegetal como o de “encosta”, construído de forma a aproveitar as “paredes” formadas por barrancos. Há também o tipo “bacurau” ou “trincheira”, feito a partir de uma vala no chão. A Madeireira Reflorestar possui em atividade sete fornos do tipo RQ para a produção do seu carvão vegetal.

O RQ possui furos propositais em sua estrutura que permitem a entrada e saída de gases durante a pirólise. As aberturas dispostas rente ao chão são popularmente conhecidas como “tatus” e aquelas dispostas mais ao alto são denominadas “baianas”. Faz-se o controle do processo de pirólise através das “baianas” e dos “tatus” em con-

junto com as chaminés dispostas nas laterais dos fornos.

Pesquisa Operacional

O nome Pesquisa Operacional – PO, tem a sua origem nas Forças Armadas do Reino Unido, onde entre 1939 e 1940, pesquisadores de diferentes áreas do conhecimento formaram pequenas equipes destinadas a dar apoio ao Comando das Operações Militares, obtendo êxito em vários de seus estudos, que receberam a denominação de Equipes de Pesquisa de Operações (*Operations Research*) (PINTO, 2008, p. 13).

Após a Segunda Guerra Mundial, a PO desenvolveu-se no setor industrial da Grã-Bretanha e em organizações militares e civis dos Estados Unidos, onde desde 1950, as indústrias passaram a utilizar as técnicas de PO para o apoio à decisão (PINTO, 2008, p. 13).

Andrade (2004, p. 22) nos mostra que problemas de alocação de recursos dizem respeito à atribuição de distribuição de recursos entre as diversas tarefas ou atividades que devem ser realizadas. Ainda para Pinto (2008, p. 17) a PO diz respeito à alocação eficiente de recursos escassos e se mostra tanto arte como uma ciência. A arte reside na habilidade de exprimir os conceitos de eficiente e de escasso por meio de um modelo matemático representativo de uma determinada situação. A ciência consiste na dedução de métodos para solucionar tais modelos, e para agilizar a solução dos problemas, torna-se indispensável o uso do computador.

Programação Linear (modelagem – função objetivo e restrições)

Corrar e Teophilo (2008, p. 331) definem Programação Linear (PL) da seguinte maneira:

É um dos mais importantes instrumentos do campo da Pesquisa Operacional – área do conhecimento que fornece um conjunto de procedimentos voltados para tratar problemas que envolvem a escassez de recursos. São passíveis de solução com o emprego de PL os problemas nos quais se busca a melhor alocação de recursos, de forma a atingir determinado objetivo de otimização, atendendo a determinadas restrições. Essas limitações podem referir-se ao montante ou à forma de distribuição dos recursos.

Diversos tipos de problemas em Contabilidade e Finanças podem ser modelados para resolução com aplicação de Programação Linear, tais como: decisões de investimento, fluxos de caixa, orçamentos de capital, mix de produção, organização de transportes, políticas de estoque, entre outros (CORRAR; TEOPHILO, 2008, p. 332).

Como o próprio nome indica, as relações matemáticas dos problemas de PL devem ser lineares. Embora muitos dos problemas do mundo dos negócios tenham um comportamento de não-linearidade, é certo afirmar que muitos deles podem ser tratados com emprego da Programação Linear, com razoável nível de aproximação (CORRAR; TEOPHILO, 2008).

Software - LINDO

De acordo com Rehfeldt (2009, p. 71) o LINDO é um *software* específico para resolução de problemas de Programação Linear, indicado por Prado (1999) e Caixeta Filho (2004). Nesse sentido, recomenda-se “usar a programação linear para resolver problemas de maior porte quando muitas restrições e variáveis devem ser consideradas” (PIDD, 1998 *apud* REHFELDT, 2009, p. 69). Por isso, cada vez mais são desenvolvidos algoritmos computacionais eficientes e precisos. Atualmente têm sido utilizados *softwares* como o LINDO (*LINDO Systems*), e pode ser utilizado em Sistemas

Operacionais como *Windows* e *LINUX*.

Análise de Sensibilidade

O termo análise de sensibilidade é relativamente comum nos ambientes empresariais. Este termo está sempre associado a análises relacionadas com variações em parâmetros de modelos quantitativos (COLIN, 2007).

A análise de sensibilidade é o estudo de como a solução ótima irá mudar, caso variem os coeficientes - parâmetros da função objetivo e das restrições-, onde se considera sempre o efeito da variação isolada de certo coeficiente, ou seja, não se analisa o que acontece com a solução ótima quando dois ou mais coeficientes variam em conjunto (MOREIRA, 2007).

Após os valores ótimos encontrados pelo programa, inicia-se o processo de análise de sensibilidade. Para Colin (2007), “a análise de sensibilidade está relacionada com a análise dos efeitos ocasionados no modelo, caso seus parâmetros mudem”.

Os dados que em conjunto formam a função objetivo e as restrições, são passíveis de mudanças ao longo do processo de produção, portanto a análise é fundamental para o tomador de decisão, pois através desta pode-se avaliar como mudanças dos parâmetros podem afetar a solução inicialmente encontrada.

Para realizar a análise de sensibilidade deve-se saber que o coeficiente das restrições em um problema de maximização pode indicar quanto de cada recurso será despendido para se elaborar uma simples unidade de um dado produto (MOREIRA, 2007).

Esses coeficientes são, por vezes, chamados de coeficientes tecnológicos, já que de certa forma, dependem do grau de tecnologia de que se dispõe. Supor constantes os coeficientes tecnológicos implica que estamos considerando como fixo um dado estado da tecnologia (MOREIRA, 2007), o que na realidade não acontece.

Em uma análise de sensibilidade deveremos responder basicamente: Qual o efeito de uma mudança num coeficiente da função-objetivo? Qual o efeito de uma mudança num coeficiente de uma restrição?

Para Colin (2007), após um modelo ter sido formulado e resolvido, pode-se estar interessado em qual seria seu comportamento caso algumas variáveis, objetivo, restrições ou parâmetros mudem. As alterações podem ser: a) Propositais: como variação da capacidade de produção de uma empresa, em que toma conscientemente a decisão acerca de como sua capacidade será alterada; b) relacionadas à incerteza: relação a fatores externos e fora de controle.

Para problemas muito grandes, a análise de sensibilidade pode ter um benefício adicional que é a eliminação da necessidade de processar, ou seja, rodar o modelo outra vez. As restrições podem ser equações ou inequações matemáticas.

Análise dos resultados

Na indústria madeireira pode se encontrar diferentes tipos de resíduos: pó de serragem, aproveitado por olarias no processo de queima de telhas e tijolos, as laterais das árvores que não aceitam acabamento (denominados casqueiros), desperdícios ao longo do processo de produção das peças (chamados sarrafos) e pedaços menores de madeiras já serradas que são aproveitadas na confecção de janelas e portas.

Para as serrarias em geral, os casqueiros e sarrafos são os resíduos mais problemáticos de se encontrar uma destinação. Devido à grande quantidade produzida, eles ocupam muito espaço físico da área de produção da indústria. As alternativas encontradas pela Madeireira Reflorestar para alocação e aproveitamento destas sobras, foram a produção de carvão vegetal a partir dos casqueiros mais grossos; e a transformação dos sarrafos e casqueiros menores em picado. Este último é utilizado

como combustível para aquecer fornos de queima de tijolos em olarias.

A Madeireira Reflorestar é uma empresa do ramo de desdobramento de madeiras para construção civil. Possui em seu nome fantasia o termo "reflorestar" por produzir caibros, linhas, ripas, ripões, táboas, pranchas, entre outros, quase que exclusivamente a partir de florestas plantadas, principalmente de espécies diversas de eucalipto. A empresa possui também uma área destinada à produção de carvão vegetal que foi criada para melhor aproveitar os desperdícios provenientes da área de serraria.

Inicialmente criada como forma de agregar valor aos desperdícios, a produção de carvão vegetal cresceu rapidamente para atender à demanda de clientes. Além de atender à sua clientela no volume (sacos), a Reflorestar conta hoje com uma empacotadora de carvão que visa clientes que utilizam este produto para consumo doméstico. Os sete fornos do tipo RQ, dão à empresa uma capacidade produtiva de aproximadamente 1200 (mil e duzentos) sacos por mês.

Medidas Dentro da Produção de Carvão

O carvão da Madeireira Reflorestar é basicamente comercializado de duas formas: a) sacos grandes de estopa (volume) onde não existe preferência de peso, geralmente o saco possui tamanho padrão de fábrica e peso médio de 21 Kg quando cheio de carvão de casqueiro e 17 Kg quando de carvão de eucalipto; b) pacotes de 3 (três) kg para consumo doméstico, onde o volume não determina nenhuma influência e sim o peso do produto.

Ao sair dos fornos (área de produção), todo o carvão, independente de sua matéria-prima é primeiramente armazenado na forma de sacos. Este procedimento é padrão na empresa e é utilizado para obter parâmetros dentro da produção. O volume, em sacos, produzido pelos diferentes fornos foi devidamente anotado durante os 65 dias para a realização deste estudo.

É importante observar que não se misturou à produção de carvão vegetal a partir de diferentes matérias-primas, para que se chegasse a um resultado satisfatório a respeito de cada material utilizado.

O Quadro 1 apresenta os dados coletados em 65 dias, em que se verifica a seguinte produção:

	P 1	P 2	P 3	P 4	TOTAIS	MÉDIA	
FORNO 1	84	53	55	54	246	61,50	
FORNO 2	98	42	-	-	140	70,00	
FORNO 3	50	60	49	-	159	53,00	
FORNO 4	57	53	50	47	207	51,75	
FORNO 5	78	62	66	-	206	68,67	
FORNO 6	95	61	52	-	208	69,33	
FORNO 7	28	60	63	71	222	55,50	
					TOTAIS	1388	60,35

QUADRO 1 – PRODUÇÃO DE CARVÃO EM 65 DIAS

Fonte: Dados da Pesquisa, 2010

A primeira produção de cada forno no período pesquisado é indicado pela coluna P1, enquanto a segunda pela coluna P2 e sucessivamente até o máximo de quatro produções indicado pela coluna P4. Podemos observar por meio do Quadro 1 que o

forno de número dois produziu apenas duas vezes em 65 dias, enquanto apenas o forno 1, 4 e 7 conseguiram produzir os quatro ciclos. Dos fornos que fecharam quatro ciclos temos o forno 1 com a maior média de produção por formada de carvão, 61,5 sacos.

A produção média de carvão vegetal neste período foi de 23 fornadas com um total de 1388 sacos produzidos, ou seja, 60,35 sacos de carvão por forno, considerando os diferentes tipos de matéria-prima. Esses valores remetem a aproximadamente 640 sacos mensais nas condições de trabalho propostas pela empresa durante os 65 dias em que realizou-se a coleta dos dados. Do carvão produzido neste período, 32% (trinta e dois por cento) teve casqueiros como matéria-prima de origem e 68% (sessenta e oito por cento) restantes com eucalipto, como se observa no Quadro 2.

MATÉRIA PRIMA	QUANTIDADE	PERCENTUAL
CASQUEIRO	442	32%
EUCALIPTO	946	68%
TOTAL	1388	100%

QUADRO 2 – PERCENTUAIS PRODUZIDOS POR TIPO DE MATÉRIA-PRIMA

Fonte: Dados da Pesquisa, 2010

Identificação das Variáveis e Modelagem

Usaremos códigos para elaboração da função objetivo e restrições. Para sacos de carvão de origem de casqueiros usaremos – SC; para sacos de carvão de origem de eucalipto – SE; para pacotes de carvão de origem de casqueiros – PC; Pacotes de carvão de origem de eucalipto – PE.

Com relação ao peso médio dos produtos temos que o saco de casqueiro - SC pesa em média 21,5 kg. O saco de eucalipto - SE pesa em média 17 kg. Para os pacotes, não importa qual a matéria-prima (pacote de casqueiro – PC ou pacote de eucalipto - PE), toda embalagem contém rigorosamente 3 kg de carvão vegetal.

A empresa produz no máximo 4.000 kg de carvão de casqueiro por mês e 8.000 kg de carvão de eucalipto, num total de 12.000 kg. A demanda mínima mensal para os pacotes é de 1000 e máxima de 2000. Para sacos com carvão de casqueiro ou eucalipto a demanda mínima e máxima é respectivamente de 300 e 600 sacos por mês. A relação entre pesos dos sacos e pacotes será importante para a montagem das restrições, e elas remetem a valores aproximados de: $SE = 5PE$ e $SC = 7PC$.

Com os valores acima, pode-se montar as restrições. Com relação às matérias-primas, tanto casqueiros quanto lenhas de eucalipto têm o mesmo custo para o setor da empresa responsável pela produção de carvão. O preço de venda dos sacos é o mesmo, independente da matéria-prima, portanto o lucro aproximado por saco é da ordem de R\$ 8,00 (oito reais). Os pacotes geram receita líquida de aproximadamente R\$ 2,40 (dois reais e quarenta centavos) a unidade. Assim sendo, pode-se configurar a função objetivo e as restrições, ou seja, construir o modelo para alimentar a interface do *software*.

```
MAX 8SC + 8SE + 2.4PC + 2.4PE
ST
S1) 21.5SC + 3PC <= 4000
P1) 16.7SE + 3PE <= 8000
P2) PC + PE <= 2000
S2) SC + SE <= 600
P3) PC + PE >= 1000
S3) SC + SE >= 300
S4) SE - 5PE <= 0
S5) SC - 7PC <= 0
END
```

121

As restrições S1, S2, S3 e S4 referem-se aos dados relacionados à sacaria e P1, P2 e P3 aos pacotes. De posse do modelo, alimentamos o programa LINDO.

Análise de Sensibilidade

Após o modelo ser escrito no programa, acionamos o *menu Solve* e escolhendo a opção de análise de sensibilidade (*DO RANGE ANALISE SENSITIVITY?*) é apresentado uma solução como mostra a Figura 1 abaixo:

Figura 1 – Análise de Sensibilidade na interface do *software* LINDO

OBJECTIVE FUNCTION VALUE				
1)	7674.251			
VARIABLE	VALUE	REDUCED COST		
SC	0.000000	2.29461		
EC	359.281433	0.000000		
FE	1333.32274	0.000000		
FE	666.666667	0.000000		
ROW	SLACK OR SURPLUS	DUAL PRICES		
S1)	0.000000	0.475042		
P1)	0.000000	0.475042		
S2)	0.000000	0.762874		
P2)	240.718484	0.000000		
P3)	1000.000000	0.000000		
S3)	59.281437	0.000000		
S4)	2974.052002	0.000000		
S5)	9333.333008	0.000000		
NO. ITERATIONS= 6				
RANGES IN WHICH THE BASIS IS UNCHANGED:				
VARIABLE	CURRENT COEF	ALLOWABLE INCREASE	ALLOWABLE DECREASE	RANGES
SC	0.000000	6.52491	INFINITY	
EC	2.000000	6.540000	5.98049	
FE	4.000000	INFINITY	0.320847	
FE	2.000000	0.320847	0.762874	
ROW	CURRENT RHS	RIGHTHAND SIDE RANGES	ALLOWABLE INCREASE	ALLOWABLE DECREASE
S1	4000.000000	BLANK	390.000000	0.000000
P1	8000.000000	1722.843487	440.000000	0.000000
P2	2000.000000	4070.000000	674.181182	0.000000
P3	400.000000	300.000000	240.318817	0.000000
S3	3000.000000	INFINITY	INFINITY	0.000000
S4	200.000000	0.000000	2974.052002	INFINITY
S5	0.000000	INFINITY	9333.333008	INFINITY

122

Fonte: *Software* LINDO, 2010

A primeira parte da análise de sensibilidade compreende na leitura dos valores propostos pelo programa e das penalidades (*reduced cost*). A solução sugerida pelo programa foi que para atingir um lucro de R\$ 7.674,25 devem ser vendidos 359 sacos de eucalipto, 1333 pacotes de casqueiro, 667 pacotes de eucalipto e nenhum saco de carvão de casqueiro. De acordo com a solução recomendada pelo programa, verifica-se que para sacos de casqueiro $SC = 0$, o que nos indica que para cada unidade vendida ocorrerá uma redução do lucro em R\$ 2,30 (*reduced cost*). Entende-se que não há vantagem em vender sacos de carvão com casqueiro.

A segunda parte da análise diz respeito às folgas de produção que a empresa tem para este cenário (*slack*) e de preço sombra (*dual price*). Em relação a folgas (*slack or surplus*), as restrições S2, S3, S4, S5 e P3 apresentam folgas. Para as restrições S2 com folga de 240 sacos, S3 com 59 sacos e P3 1000 pacotes. A partir destes valores inferimos que há possibilidade de um melhor aproveitamento de produção. Em relação às restrições S4 e S5 as folgas não podem ser analisadas porque existem relações fixas entre valores, e como tal, não se pode fazer inferência.

Para o caso do “*dual price*” verifica-se que para as restrições S1 e P1, a cada unidade adicional de produção haverá um aumento de R\$ 0,48 no lucro, e de R\$ 0,96 para uma produção adicional em relação à restrição P2.

As restrições P1, P2 e S1 mostram não ter folga, ou seja, as restrições foram atendidas.

A terceira parte da análise de sensibilidade (*RANGES IN WHICH THE BASIS IS UNCHANGED*) diz respeito à interpretação dos valores dos coeficientes da função

objetivo e dos termos independentes (*RHS*) dos intervalos das restrições.

A faixa dos coeficientes da função objetivo relata que para qualquer mudança dentro do intervalo aberto apresentado, os valores da solução acima encontrada não se alteram para as sacarias e pacotes, alterando somente o valor do lucro.

VARIABLE	OBJ COEFFICIENT RANGES		
	CURRENT COEF	ALLOWABLE INCREASE	ALLOWABLE DECREASE
SC	8.00	2.29	INFINITY

A faixa dos coeficientes do LDR (*Righthand Side*) relata que poderá haver alteração nos valores dos termos independentes, ou seja, o programa apresenta intervalos onde a empresa poderá trabalhar a partir dos dados preliminares de sua capacidade produtiva. Isto ocasiona mudança na solução inicial para sacaria e pacotes e conseqüentemente para o lucro.

Para este caso, o valor pode ser aumentado em 2,29 e reduzido até os R\$ 8,00 (*infinity*), portanto, o valor deste lucro estará entre] 0 ; 10,29[;

SE	8.00	5.36	1.78
----	------	------	------

Para este caso, o valor deste lucro estará entre] 6,22 ; 13,36[;

PC	2.40	INFINITY	0.32
----	------	----------	------

Para este caso, o valor pode ser aumentado infinitamente (*infinity*), portanto, o valor deste lucro estará entre] 2,08; “[;

PE	2.40	0.32	0.96
----	------	------	------

Para este caso, o valor deste lucro estará entre] 2,08 ; 3,36[;

A faixa dos coeficientes do LDR (*Righthand Side*) relata que poderá haver alteração nos valores dos termos independentes, ou seja, o programa apresenta intervalos onde a empresa

poderá trabalhar a partir dos dados preliminares de sua capacidade produtiva. Isto ocasiona mudança na solução inicial para sacaria e pacotes e conseqüentemente para o lucro.

ROW	RIGHTHAND SIDE RANGES		
	CURRENT	ALLOWABLE INCREASE	ALLOWABLE DECREASE
RHS			
S1	4000	2000	990

Para este caso, o peso da produção mensal de carvão de casqueiro pode ser reduzido até os 990 kg e aumentado 2000 kg, portanto, o valor desta restrição estará entre] 3010 ; 6000 [;

P1	8000	4020	990
----	------	------	-----

Para este caso, o peso total da produção mensal de carvão de eucalipto pode ser reduzido até os 990 kg e aumentado 4020 kg, portanto, o valor desta restrição estará entre]7010;12020 [;

P2	2000	330	667
----	------	-----	-----

Para este caso, a quantidade máxima de pacotes produzida no mês pode ser reduzida até 667 unidades e aumentada 330 unidades, portanto, o valor desta restrição estará entre]1333 ; 2330 [;

S2	600	INFINITY	241
----	-----	----------	-----

Para este caso, a quantidade máxima mensal de sacos de casqueiro e/ou de eucalipto pode ser reduzida até 241 unidades e aumentada (*infinity*), portanto, o valor desta restrição estará entre] 359 ; “[;

P3	1000	1000	INFINITY
----	------	------	----------

A análise de sensibilidade proporcionada pelo *software* LINDO nos indica que não é viável em hipótese alguma vender sacos de carvão de casqueiro. Se ainda assim houver a venda de sacos de casqueiros, o programa nos mostra uma redução no lucro encontrado. Cada unidade vendida representa uma redução de R\$ 2,30 (dois reais e trinta centavos) no valor máximo da mesma.

A venda de pacotes de 3 kg deve ser distribuída da seguinte forma: 1333 pacotes de casqueiro (PC) e 667 pacotes de eucalipto (PE), totalizando 2000 pacotes mensais, de acordo com a restrição P2. Nota-se que se não houvesse um limite de produção máxima mensal de pacotes de 3 kg, o programa sugeriria um aumento nas vendas deste produto. Conclui-se, portanto, que para a empresa é mais lucrativo a venda de carvão vegetal em pacotes.

A solução indicada pelo LINDO remete a uma produção que otimizará o lucro da carvoaria instalada na Madeireira Reflorestar da ordem de R\$ 7.674,25 (sete mil seiscentos e setenta e quatro reais e vinte e cinco centavos). Este, entretanto, não é o maior lucro mensal que a empresa pode atingir, levando em consideração sua capacidade produtiva e os melhoramentos cabíveis na produção de seu carvão vegetal.

Referências

- ANDRADE, Eduardo Leopoldino. **Introdução à pesquisa operacional**: métodos e modelos para análise de decisões. 3 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2004.
- BATISTA, Djeison Cesar. **Avaliação do desempenho operacional de uma serraria através de estudo do tempo, rendimento e eficiência**: Estudo de Caso em Piraf – RJ. UFRRJ, 2006.
- BRITO, José Otaviano. **Princípios da produção e utilização do carvão vegetal de madeira**. Piracicaba: ESALQ, 1990. 19p. (Documentos Florestais).
- COLIN, Emerson Carlos. **Pesquisa operacional**: 170 aplicações em estratégia, finanças, logística, produção, marketing e vendas. Rio de Janeiro: LTC, 2007.
- CORRAR, Luiz J. e TEOFILO, Carlos Renato. **Pesquisa operacional para decisão em contabilidade e administração**. 2 ed. São Paulo: Atlas, 2008.
- DOSSA, Derli et al. **Produção e rentabilidade do eucalipto em empresas florestais**. COMUNICADO TÉCNICO, 83. Colombo, PR 2002.
- FEITOSA, Bruno da Costa. **Aproveitamento econômico dos resíduos de madeira como alternativa para minimização de problemas socioambientais no estado do Pará**. (2003). Disponível em: <www.netsaber.com.br>. Acesso em 27 set 2010.
- GÓMEZ, Edgardo Olivares. **A tecnologia de pirólise no contexto da produção moderna de biocombustíveis**: uma visão perspectiva. Disponível em: <www.ambientebrasil.com.br>. Acesso em 30 set. 2010.
- JOAQUIM, Maísa dos Santos. **Carvão vegetal**: uma alternativa para os produtores rurais do sudoeste Goiano. (Tese). UNEB. Faculdade de Tecnologia. Departamento de Engenharia Florestal, 2009. 86 p.
- LEONEL, Marcelino Serretti. **Avaliação econômica do plantio de eucalipto no Extremo Sul da Bahia através do Programa de Fomento Florestal Privado**. UCAM. Rio de Janeiro, 2007.
- MENDES, Lourival Marin et al. Universidade Federal de Lavras, Departamento de Ciências Florestais, Lavras/MG. **Revista da Madeira**, n. 92, out. 2005.
- MICHAELIS. Dicionário de língua portuguesa online. Disponível em: <www.michaelis.uol.com.br> Acesso em 22 set 2010.
- MORAIS-FILHO, A.D.; RODRIGUES, L.C.E. **Plantações de eucalipto**: análise do fluxo de caixa de pequenos produtores do Alto Tietê. São Paulo, 2004. p. 2-5.
- MOREIRA, Daniel Augusto. **Pesquisa operacional**: curso introdutório. São Paulo: Thomson, 2007.

PASSOS, Carlos Alberto Moraes. **Aspectos gerais sobre sistemas agroflorestais**. Cuiabá, 2003. p. 2-10.

PAINEL FLORESTAL. A mais completa mídia do cluster florestal. Disponível em: <<http://painelflorestal.com.br/>> acesso em: 25 set. 2010.

PINTO, Kleber Carlos Ribeiro. **Aprendendo a decidir com a pesquisa operacional**. 2 ed. Uberlândia: EDUFU, 2008.

REHFELDT, Márcia Jussara Hepp. **A aplicação de modelos em situações-problema empresariais, com uso do software LINDO**. Tese (doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do sul, Porto Alegre, 2009.

RODRIGUES, Luiz Carlos Estraviz. **Ciência e tecnologia no setor florestal brasileiro: diagnóstico, prioridades e modelo de financiamento**. Piracicaba, 2002.

VERGARA, Sylvia Constant. **Métodos de pesquisa em administração**. São Paulo. Atlas, 2005.

Notas

¹ Parte dos toros retiradas na primeira serragem que não conseguem ser aproveitadas como produtos finais na madeireira.

² Condições de clima e solo como estruturação, textura, densidade, porosidade, nutrientes, etc. essenciais para o desenvolvimento da espécie.