

## Processo de composição de mix de produtos em abatedouro avícola com apoio da Programação Linear e da Análise de Sensibilidade

Jaqueline Marchiore Petri (UTFPR); Marcelo Gonçalves Trentin (UTFPR); José Donizetti de Lima (UTFPR),  
Gustavo Henrique Beltrani Slomski (UTFPR); Dayse Regina Batistus (UTFPR)

**Resumo:** Este artigo propõe a utilização da Programação Linear (PL) e da Análise de Sensibilidade (AS) como ferramentas de otimização e interpretação dos dados no processo de produção de *mix* de produtos compostos por cortes de frango. A partir do interesse da gestão de um abatedouro avícola, três problemas da ordem de produção foram modelados e implementados computacionalmente no software LINDO®. No presente estudo, foi minimizado o custo de produção do pacote de frango a passarinho levando em consideração o intervalo percentual de cada ingrediente no pacote. Além disso, a produção foi maximizada considerando a disponibilidade fixa de ingredientes e com disponibilidade ilimitada. O uso das ferramentas propostas (PL e AS) evidenciou maior quantidade e qualidade nas informações, proporcionando a interpretação dos dados de saída a partir da variabilidade nos dados de entrada. Desta forma, o uso da PL e da AS auxilia o gestor na assertiva tomada de decisão.

**Palavras-chave:** *Mix* de Produtos, Cortes de Frango, Programação Linear, Otimização, Análise de Sensibilidade

## Sensitivity analysis in the process of product mix composition in poultry slaughterhouse

**Abstract:** This paper proposes the use of Linear Programming (LP) and Sensitivity Analysis (SA) as data optimization and interpretation tools in the production process of product mix composed by chicken cuts. From the interest of managing a poultry slaughterhouse, three problems of the production order were modeled and computationally implemented in the LINDO® software. In the present study, the cost of producing the poultry pack was minimized by considering the percentage range of each ingredient in the pack. In addition, production was maximized considering fixed ingredient availability and unlimited availability. The use of the proposed tools (LP and SA) showed greater quantity and quality in the information, providing the interpretation of the output data from the variability in the input data. Thus, the use of LP and SA assists the manager in assertive decision making.

**Keywords:** Product Mix, Chicken Parts, Linear Programming, Optimization, Sensitivity Analysis

### 1. Introdução

A produção global de carne deverá ultrapassar 337 milhões de toneladas em 2019. A produção de aves continua a dominar este setor, apesar da crise produtiva no Brasil e na China, provocada pela restrição comercial e pela Influenza aviária, respectivamente. Conforme previsão, haverá o crescimento na produção de aves em 27% até 2023, representando aproximadamente a metade da carne produzida globalmente para o período estimado (OECD-FAO, 2014; FAO, 2019).

A produção de frango no mercado mundial, independentemente do crescimento lento dos últimos dois anos, está prevista para 128 milhões de toneladas em 2019, representando 2,8% de aumento em comparação a 2018. No Brasil, a previsão é que o setor se recupere em 2% neste ano, devido aos diversos programas implantados visando solucionar problemas

enfrentados pela indústria em 2018, o que levou à restrição de acesso a diversos mercados importantes (FAO, 2019).

Visando atender as demandas de mercado interno e de exportação, a produção em larga escala exige que a administração dos recursos seja mais especializada (TALLENTIRE *et al.*, 2017). Desta forma, o investimento no desenvolvimento de tecnologias de alimentação, abate e processamento pode favorecer a segurança e a eficiência dos processos e a otimização dos recursos disponíveis, além de minimizar perdas e maximizar lucros (SCHMIDT; SILVA, 2018).

A necessidade de adequar as estratégias de gestão e de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) às exigências da globalização e do mercado competitivo, motivam as empresas a investir em ferramentas tecnológicas. Esta ruptura de paradigmas proporciona o planejamento e o controle nos processos produtivos e pode ser fundamental para o fortalecimento nos panoramas Nacional e Internacional (ENGELBRECHT; VAN RENSBURG, 2018; KHALILZADEH; DERIKVAND, 2018; TASDEMIR; GAZO, 2018; HURWITZ *et al.*, 2019; PAKSOY *et al.*, 2019).

Neste contexto, a Pesquisa Operacional (PO) pode ser uma ferramenta útil no tratamento de problemas de produção, pois permite a análise dos parâmetros que influenciam o comportamento do sistema e fundamenta a tomada de decisão. As técnicas da PO podem ser empregadas na resolução de problemas da indústria, transportes, finanças, cadeias de suprimento, serviço público, entre outros (ARENALES *et al.*, 2011; BORGONOVO; PLISCHKE, 2016; KUMARI; KUMAR, 2018; WANG *et al.*, 2019)

A PO pode ser utilizada tanto para tratar problemas determinísticos, quando as técnicas são destinadas para a compreensão e solução de problemas com parâmetros precisos, ou seja, com valor fixo atribuído; quanto para problemas estocásticos, nos quais modelos são influenciados pela aleatoriedade das variáveis que compõem o problema (GOLDBARG; LUNA, 2005; ARENALES *et al.* 2011; NEGAHBAN; SMITH, 2014).

A integração da PL à cadeia produtiva de frango ocorreu em nível mundial na década de 1970, a partir da necessidade de otimizar a dieta das aves visando obtenção de um produto de maior qualidade e de maximizar a produção. A partir disso, outras questões ligadas às cobranças do consumidor, começaram a ser analisadas pelo setor: instalações de equipamentos, bem-estar animal, melhoramento genético, preservação de meio ambiente, entre outras (SCHMIDT; SILVA, 2018).

De acordo com Souza e Clemente (2008), a indústria é considerada uma unidade de produção que converte insumos em bens e serviços, podendo ficar vulnerável às incertezas relacionadas aos preços de mercado, à demanda futura, aos recursos disponíveis e à oferta de mão de obra. A busca pelo equilíbrio econômico-financeiro impacta principalmente na redução dos custos de produção e na otimização dos recursos disponíveis e nesta perspectiva segue esta pesquisa.

O Relatório da Associação Brasileira de Proteína Animal (ABPA, 2018), referencia que a produção brasileira de carne de frango, no ano de 2017 destinou-se em 66,9% para suprir a demanda interna e 33,1% para a exportação. Esse Relatório (ABPA, 2018) ainda aponta que a exportação brasileira de carne de frango é subdividida em: frango inteiro, cortes de frango, produtos embutidos, industrializados e carnes salgadas.

Neste contexto, pretende-se verificar como a Programação Linear (PL) e a posterior Análise de Sensibilidade (AS) podem auxiliar o gestor no aumento da eficiência da produção de mix de cortes de carne de frango, reduzindo possíveis desperdícios. A escolha deste subproduto, qual seja, frango à passarinho, ocorre em função do indicado no referido Relatório: a venda

de cortes de frango representa 63% das exportações brasileiras seguido da exportação do frango inteiro com 29%.

Desta forma, este artigo está estruturado em cinco seções. Na segunda seção, será realizada a contextualização teórica das ferramentas selecionadas para esta pesquisa. A terceira seção apresentará a classificação metodológica do problema. Na quarta seção será realizado o estudo de caso com aplicação da AS, a fim de detectar a influência que cada parâmetro projeta na função objetivo. A quinta e última seção é destinada às considerações finais e perspectivas para pesquisas futuras.

## 2. Referencial Teórico

Problemas de misturas ótimas surgem quando é necessário combinar ingredientes para produzir um ou mais produtos (DJEUMOU; FOMENI, 2018). Para tal finalidade, os especialistas devem decidir quanto de cada recurso (ingrediente) deve ser disponibilizado a fim de atender às características e à demanda do produto a um custo mínimo (CAIXETA FILHO, 2009; MORAES *et al.*, 2015; ZHENG *et al.*, 2018; NIU *et al.*, 2019).

A PL é um dos métodos da PO mais utilizados na resolução de problemas desta natureza. A partir do atendimento de um objetivo pré-estabelecido, expresso por uma função linear: a função objetivo ( $Z$ ), a PL pode auxiliar na tomada de decisão proporcionando a ótima alocação de recursos. Além da função objetivo, é necessário observar as condições operacionais do problema, também chamadas de restrições, utilizadas para a análise e obtenção da solução ótima (TAHA, 2007; LEWIS, 2008; ARENALES *et al.* 2011).

Desta forma, conforme Goldberg e Luna (2005), o modelo de otimização, utilizado para minimizar ou maximizar a função objetivo ( $Z$ ), pode ser formulado como segue:

$$\text{Otimizar } Z = \sum_{j=1}^n c_j x_j \quad (1)$$

sujeito a:

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \geq b_i \quad i = 1, 2, \dots, p \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j = b_i \quad i = p + 1, p + 2, \dots, m \quad (3)$$

$$x_j \geq 0, \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (4)$$

$$x_j \in \mathfrak{R}, \quad j = q + 1, q + 2, \dots, q + n \quad (5)$$

sendo que:

$A = \{a_{ij}\}$  é a matriz de restrições e  $a_j$  equivale à  $j$ -ésima coluna de  $A$ ;

$x = (x_j)$  e  $c = (c_j)$ , ambos com  $j \in N$  são vetores coluna e linha de  $n$  componentes, respectivamente;

$d = (d_i)$  com  $i \in M$  é vetor coluna de  $m$  componentes;

$M = \{1, 2, \dots, m\}$  é o conjunto dos índices das restrições do problema; e

$N = \{1, 2, \dots, n\}$  o conjunto dos índices das variáveis.

Existem várias técnicas que podem ser empregadas na resolução de um problema de PL. O método gráfico ou programação linear geométrica é um dos métodos mais simples. Contudo, pode ser utilizado apenas em problemas que apresentam uma expressão linear em duas ou

três variáveis (1), sujeita a um pequeno conjunto de restrições, também lineares (2), (3) e (4) (TAHA, 2007; BELFIORE; FÁVERO, 2013).

Quando o modelo apresenta uma ou mais funções objetivo e mais de três restrições, a resolução pelo método gráfico se torna inviável e passa a ser necessário o auxílio de ferramentas que tornem a otimização mais rápida e eficiente. Para essas situações, o método simplex pode ser uma ferramenta eficaz. Utilizando este método é possível encontrar um valor ótimo por meio de um processo iterativo, que parte de uma solução factível inicial e busca uma nova solução factível a cada iteração (GOLDBARG; LUNA, 2005; CAIXETA FILHO, 2009).

Após a otimização, é possível prever a estabilidade da solução determinística em virtude de possíveis variações nos parâmetros de entrada. Os modelos são, geralmente, muito suscetíveis às variações de logística, produção, demanda entre outros. Nesse contexto, a AS pode ser uma técnica eficaz quando se pretende a plena utilização dos recursos disponíveis. Também é possível prever se alterações nos parâmetros podem proporcionar aumento na função objetivo e quais recursos são passíveis de alteração (BORGONOVO; PLISCHKE, 2016).

As técnicas de AS podem ser classificadas em Análise de Sensibilidade Local (ASL) e Análise de Sensibilidade Global (ASG). A ASL é implementada considerando as mudanças nas saídas do modelo causadas pela alteração de um parâmetro, enquanto os demais parâmetros permanecem fixos. Já a ASG prevê a interação entre os parâmetros, a fim de estimar o índice de sensibilidade global e principal de cada um deles (ARENALES *et al.*, 2011; BORGONOVO & PLISCHKE, 2016).

Desta forma, a AS aplicada a parâmetros importantes do modelo pode proporcionar a compreensão dos principais fatores que afetam a otimização do problema. Além disso, por meio da AS, pode ser possível fornecer ao tomador de decisão referências para equilibrar o objetivo da função e os riscos provenientes da variabilidade no modelo (CAIXETA FILHO, 2009).

### 3. Materiais e Métodos

#### 3.1. Os modelos

Considerou-se a produção de uma indústria aviária localizada na região Oeste de Santa Catarina. O método utilizado foi estudo de caso levando em consideração o mix frango a passarinho. Esta pesquisa também pode ser classificada como aplicada, quanto à natureza. A partir da abordagem quantitativa foi realizada a avaliação da influência dos parâmetros no comportamento da função objetivo (CAUCHICK MIGUEL, 2007).

Segundo dados do frigorífico, após os processos de abate, evisceração, retirada de miúdos e resfriamento, as aves que estão dentro dos padrões de qualidade são embaladas inteiras e as demais são destinadas à sala de cortes para a transformação em mix e/ou subprodutos. No entanto, cada corte gera um custo e produz um lucro diferente para a indústria e, para que a produção possa ser otimizada, é necessária a percepção e o controle de todos os parâmetros envolvidos, a qual será realizada pela Análise de Sensibilidade (AS).

Foram resolvidos 3 problemas de PL referentes à produção do mix de produtos e para isto foram utilizados o Algoritmo Simplex e o Software LINDO®. Os problemas foram modelados conforme a indicação de dados dos especialistas e atenderam a política de qualidade do frigorífico, quanto à composição percentual de cada corte no pacote de 1 Kg de frango a passarinho, de acordo com a Tabela 1.

Corte de frango	Percentual
Asa ( $x_1$ )	5% a 35%
Perna ( $x_2$ )	20% a 70%
Peito ( $x_3$ )	15% a 60%

Tabela 1: Intervalo percentual de cada corte para a composição do *mix* de produtos

**Problema 1:** Minimização do custo total de produção levando em consideração os percentuais máximos e mínimos de cada corte de frango. Para esta etapa, o gestor indicou não considerar a quantidade de insumos disponíveis por acreditar na disponibilidade ilimitada de ingredientes.

A função objetivo (Z) representada pela equação (6), corresponde à minimização do custo de produção de uma embalagem de 1 Kg de frango à passarinho. A embalagem é composta por um *mix* de cortes de frango: asa, perna (coxa e sobrecoxa) e peito, de forma que o custo unitário por Kg de cada item é R\$ 1,489, R\$ 1,139 e R\$ 3,103, respectivamente.

$$C = 1.489x_1 + 1.139x_2 + 3.103x_3 \quad (6)$$

Construindo as restrições deste problema de minimização, seguindo a ordem de composição do pacote e do percentual de cada item, tem-se:

$$x_1 + x_2 + x_3 \geq 1 \quad (7)$$

$$x_1 - 0,05x_1 - 0,05x_2 - 0,05x_3 \geq 0 \quad (8)$$

$$x_1 - 0,35x_1 - 0,35x_2 - 0,35x_3 \leq 0 \quad (9)$$

$$x_2 - 0,2x_1 - 0,2x_2 - 0,2x_3 \geq 0 \quad (10)$$

$$x_2 - 0,7x_1 - 0,7x_2 - 0,7x_3 \leq 0 \quad (11)$$

$$x_3 - 0,15x_1 - 0,15x_2 - 0,15x_3 \geq 0 \quad (12).$$

$$x_3 - 0,6x_1 - 0,6x_2 - 0,6x_3 \leq 0 \quad (13)$$

$$x_1 \geq 0 \quad (14)$$

$$x_2 \geq 0 \quad (15)$$

$$x_3 \geq 0 \quad (16)$$

**Problema 2:** Maximizar a produção com os insumos disponíveis utilizando as proporções ideais geradas pelo Problema 1. Os valores ótimos de  $x_1$ ,  $x_2$  e de  $x_3$  devem ser utilizados como coeficientes das equações, conforme (17), (18) e (19). A otimização deve contemplar as restrições (20) a (22) referente à disponibilidade de ingredientes, além das restrições de não negatividade definidas pelas inequações (14) a (16).

$$x_1 - 0,15x_1 - 0,15x_2 - 0,15x_3 = 0 \quad (17)$$

$$x_2 - 0,70x_1 - 0,70x_2 - 0,70x_3 = 0 \quad (18)$$

$$x_3 - 0,15x_1 - 0,15x_2 - 0,15x_3 = 0 \quad (19)$$

$$x_1 \leq 7700 \quad (20)$$

$$x_2 \leq 30100 \quad (21)$$

$$x_3 \leq 19500 \quad (22)$$

**Problema 3:** Maximizar a produção não levando em consideração a proporção ideal que gera

menor custo, objetiva-se aqui apenas aproveitar ao máximo os insumos disponíveis atendendo as proporções limites estabelecidas. Serão utilizadas para esta otimização as inequações (8) a (16) e (20) a (22).

### 3.2. Análise de Sensibilidade

Os modelos puramente determinísticos nem sempre representam a realidade, pois a variabilidade nos dados de *input* e *output* está inserida na maioria dos problemas, tanto por questões relacionadas à oferta e à demanda quanto por questões de logística e produção (AWUDU; ZHANG, 2013; SAHOO *et. al*, 2014; BORGONOVO; PLISCHKE, 2016; ZAHEDI-SERESHT *et al.*, 2017; AOUAM *et al.*, 2018; SAAD *et al.*, 2018).

Desta forma, incorporando a variabilidade nos parâmetros, realizou-se a AS no sistema com a intenção de quantificar a influência de cada um deles nos valores ótimos encontrados por meio da PL.

## 4. Resultados e Discussão

A partir dos dados informados pelos especialistas referente à disponibilidade de matéria-prima, de custos de ingredientes e de composição do mix de produtos, os modelos foram otimizados computacionalmente, gerando os resultados descritos na sequência.

### 4.1. Problema 1

Utilizando as restrições (7) a (16), sem levar em consideração a quantidade de insumos disponíveis, o custo mínimo para a produção de um pacote de frango a passarinho foi de aproximadamente R\$ 1,4861. Cada pacote foi composto por 15% de cortes de asa ( $x_1$ ), 70% de cortes de perna ou coxa e sobrecoxa ( $x_2$ ) e 15% de cortes de peito ( $x_3$ ).

Analisando os resultados apresentados na Tabela 2, com dados fornecidos pelo software LINDO®, verificam-se folgas ou excessos (*slack or surplus*) em relação aos limites das variáveis. Se a restrição matemática é de minimização pode-se observar excessos, em comparação ao mínimo estabelecido. Todavia, quando o objetivo corresponde à maximização, percebe-se folgas. A primeira linha corresponde à função objetivo e as demais às restrições do modelo.

Linha	Folga ou Excesso (%)	Dual Price
Pacote de 1 kg	0,00	-1,486100
minimizar ( $x_1$ )	0,10	0,000000
maximizar ( $x_1$ )	0,20	0,000000
minimizar ( $x_2$ )	0,50	0,000000
maximizar ( $x_2$ )	0,00	0,350000
minimizar ( $x_3$ )	0,00	-1,614000
maximizar ( $x_3$ )	0,45	0,000000

Tabela 2: Retorno de Folga/ Excesso e Preço Duplo

É possível visualizar que todas as restrições foram respeitadas, pois não houve folgas ou excessos negativos. Quando esses valores são iguais a zero, diz-se que o valor retornado corresponde ao limite para a variável. Exemplo dessa situação é o valor de maximização para  $x_2$ , não houve folga porque o sistema retornou o valor ótimo igual ao valor máximo fixado pela restrição (11), de 70%.

A terceira coluna representa o *dual price*, ou, na tradução literal “preço duplo”. Este retorno

esclarece o quanto a função objetivo melhora ou piora (maximização ou minimização) se aumentar o lado direito da restrição em uma unidade. É válido lembrar que o preço duplo só existe quando a variável não apresenta folga ou excesso.

O “preço duplo” para o pacote significa que o aumento de uma unidade no lado direito da restrição (7) retorna ao modelo um aumento de R\$ 1,4861 na função objetivo, exatamente o valor do custo de 1 Kg. Da mesma forma, a cada unidade somada à direita das restrições (11) e (12), a função objetivo piora em 0,35 Kg e melhora em 1,61400 Kg, respectivamente.

Analisando a sensibilidade do sistema em função da possibilidade de variação nos coeficientes da função objetivo (FO), percebe-se que o resultado continua inalterado se os valores pertencerem aos intervalos apresentados na Tabela 3. De forma análoga, é possível fazer a análise quanto à variabilidade dos valores à direita de todas as restrições do modelo, conforme detalha a Tabela 4.

Parâmetro	Mínimo (R\$)	Custo inicial (R\$)	Máximo (R\$)
X <sub>1</sub>	1,139	1,489	3,103
X <sub>2</sub>	Infinito	1,139	1,489
X <sub>3</sub>	1,489	3,103	Infinito

Tabela 3: Variabilidade permitida sem alterar o resultado da função objetivo

Restrição	Mínimo (R\$)	Valor inicial	Máximo (R\$)
7	1	1	Infinito
8	Infinito	0	0,100
9	0,200	0	Infinito
10	Infinito	0	0,500
11	0,200	0	0,100
12	0,150	0	0,100
13	0,450	0	Infinito

Tabela 4: Variabilidade permitida sem alterar o resultado da função objetivo

## 4.2. Problema 2

A produção foi maximizada em 43.000 pacotes de frango à passarinho, utilizando os insumos disponíveis, delimitados pelas restrições (20) a (22) e as proporções ideais geradas pelo Problema 1 conforme as restrições (17) a (19). Obteve-se que para maximizar a produção será utilizado 6.450 Kg de x<sub>1</sub>, 30.100 Kg de x<sub>2</sub> e 6.450 Kg de x<sub>3</sub>.

A Tabela 4 apresenta as folgas e excessos para cada variável, bem como o valor *Dual Price*. Desta forma, o aumento de uma unidade nas restrições (17), (19) e (21) gera como retorno na função objetivo o mesmo valor de 1,428571 Kg.

Linha	Folga ou Excesso (%)	Dual Price
Proporção de x <sub>1</sub>	0,00	1,428571
Proporção de x <sub>2</sub>	0,00	0,000000

Proporção de $x_3$	0,00	1,428571
Disponibilidade de $x_1$	1250,00	0,000000
Disponibilidade de $x_2$	0,00	1,428571
Disponibilidade de $x_3$	13050,00	0,000000

Tabela 4: Retorno de Folga/Excesso e Preço Duplo

Para que a função de maximização permaneça inalterada, todos os coeficientes  $x_1$ ,  $x_2$  e  $x_3$  podem apresentar a variabilidade a menor de 6,66667 Kg, 1,428571 Kg e 6,66667 Kg, respectivamente. A variabilidade permitida nas restrições é mostrada na Tabela 5.

Restrição	Mínimo (Kg)	Valores do modelo	Máximo (Kg)
17	0,000000	0	0,000000
18	0,000000	0	0,000000
19	0,000000	0	0,000000
20	1250,000000	7700	Infinito
21	30100,000000	30100	5833,333496
22	13050,000000	19500	Infinito

Tabela 5: Variabilidade permitida sem alterar o resultado da função objetivo

### 4.3. Problema 3

A produção foi maximizada, não levando em consideração a proporção ideal que gera menor custo, em 57.300 Kg de produto. Neste caso, foi utilizado 7.700 Kg de  $x_1$ , 30.100 Kg de  $x_2$  e 19.500 Kg de  $x_3$ .

Na Tabela 6 são apresentados os valores de folga e excesso de cada variável, bem como o valor *Dual Price*. Assim, o aumento de uma unidade nas restrições (20), (21) e (22) gera como retorno na função objetivo o mesmo valor de 1 Kg.

LINHA	FOLGA OU EXCESSO (%)	DUAL PRICE
Disponibilidade de $x_1$	0,000000	1,000000
Disponibilidade de $x_2$	0,000000	1,000000
Disponibilidade de $x_3$	0,000000	1,000000
minimizar ( $x_1$ )	0,000000	0,000000
maximizar ( $x_1$ )	4835,000000	0,000000
minimizar ( $x_2$ )	12355,000000	0,000000
maximizar ( $x_2$ )	18640,000000	0,000000
minimizar ( $x_3$ )	10010,000000	0,000000
maximizar ( $x_3$ )	14880,000000	0,000000

Tabela 6: Retorno de Folga/ Excesso e Preço Duplo

A fim de manter a função de maximização inalterada, os coeficientes  $x_1$ ,  $x_2$  e  $x_3$  podem apresentar a variabilidade a menor de 1,000000, o que significa não produzir ou variar a maior infinitamente. Já os intervalos de variabilidade permitidos nas restrições, estão apresentados na Tabela 7.

Restrição	Mínimo (Kg)	Valores do modelo	Máximo (Kg)
20	5089,473633	7700,000000	19007,693359
21	23300,000000	30100,000000	33366,661062
22	12829,411133	19500,000000	37200,000000
8	Infinito	0,000000	4835,000000
9	12355,000000	0,000000	Infinito
10	Infinito	0,000000	18640,000000
11	10010,000000	0,000000	Infinito
12	Infinito	0,000000	10905,000000
13	14880,000000	0,000000	Infinito

Tabela 7: Variabilidade permitida sem alterar o resultado da função objetivo

#### 4.4. Discussão

Pela análise determinística, os três problemas abordados estariam resolvidos apenas com o retorno dos valores de maximização/minimização e dos valores das variáveis  $x_1$ ,  $x_2$  e  $x_3$ . Contudo, o mercado econômico não está atrelado somente a fatores determinísticos, há variabilidade entre a oferta e a demanda, na disponibilidade de recursos, de mão de obra, entre outros.

A atenção dos pesquisadores e especialistas está voltada à incorporação de novos modelos de produção para que as oscilações possam ser consideradas ao tomar a decisão. Analisar a sensibilidade do sistema em função da aleatoriedade presente nas variáveis pode facilitar ao gestor a tomada de decisão com mais assertividade e mais próxima à realidade (KUMARI; KUMAR, 2018; HURWITZ *et al.*, 2019).

Por meio da modelagem dos problemas e da posterior AS é possível conhecer os riscos a que determinado projeto está exposto e supervisioná-los. Desta forma, o gestor pode adotar estratégias diferenciadas a fim de manter os resultados dentro dos limites estabelecidos pelas restrições e pode controlar o sistema de acordo com a estocasticidade presente nos dados de entrada (CAIXETA FILHO, 2009).

A AS realizada no Problema 1 permite observar que, conforme o preço de cada ingrediente é possível aumentar ou diminuir seu percentual na composição do pacote de frango a passarinho. Os intervalos gerados pelo sistema facilitam o controle do custo em função da quantidade de produto que pretende produzir.

Já no Problema 2, a AS facilita ao gestor a quantificação da produção em virtude da variação na disponibilidade de cada ingrediente. Embora a otimização forneça valores ótimos, durante o processo produtivo podem acontecer oscilações tanto na demanda, quanto na oferta dos itens que compõem o produto.

O Problema 3 possibilita ao gestor perceber que a AS é uma importante ferramenta na tomada de decisão. Sem levar em consideração a proporção ótima de cada insumo, é possível observar uma folga na produção de 14.300 Kg. Se houver a disponibilidade de 7.700 Kg de  $x_1$  e de 19.100 Kg de  $x_3$ , a produção poderá ser maximizada até 57.300 Kg, uma vez que o sistema já está utilizando o percentual máximo de  $x_2$ .

#### 5. Conclusões

A cadeia produtiva de frango é uma das mais competitivas no mercado mundial em virtude

da crescente demanda. Nesse contexto, a empresa precisa contar com ferramentas de apoio à análise dos dados decorrentes do processo de produção. A percepção dos riscos inerentes a cada etapa produtiva deve ser objeto de controle do gestor, bem como a quantificação dos custos e a previsão da oscilação dos lucros.

Neste artigo, buscou-se avaliar a utilização de modelos de PL e da AS como ferramentas para otimização do processo de produção de frango a passarinho. Os resultados obtidos por meio das ferramentas propostas fornecem um conjunto enriquecido de informações para o gestor, proporcionando que a empresa detenha o controle do processo e assegurando a competitividade no setor ao qual pertence, atendendo positivamente os objetivos desta pesquisa.

Desta forma, a AS auxilia na compreensão das relações entre os parâmetros do sistema e o resultado ótimo de vários problemas em Pesquisa Operacional. Além disso, permite identificar os impactos que a variabilidade nos dados de entrada provoca nos dados de saída. De acordo com Borgonovo e Plischke (2016), a AS proporciona um processo de questionamento no qual o gerente se familiariza com o comportamento do modelo para a assertiva tomada de decisão.

Para pesquisas futuras, indica-se verificar a possibilidade de utilizar a AS na fase de construção do modelo. O uso da AS anteriormente à otimização pode indicar o comportamento dos parâmetros no funcionamento interno do sistema e proporcionar a validação do modelo com base no retorno gerado.

## Referências

- ABPA. Annual Report of the Brazilian Association of Animal Protein. **Relatório anual 2018**. 2018. Disponível em: <<http://abpa-br.com.br/storage/files/relatorio-anual-2018.pdf>>. Acesso em: 25 abr. de 2019.
- AKHTAR, Mohammad; SUSHIL, S. Strategic performance management system in uncertain business environment: An empirical study of the Indian oil industry. **Business Process Management Journal**, v. 24, n. 4, p. 923–942, 2018.
- AOUAM, Tarik et al. Production planning with order acceptance and demand uncertainty. **Computers & Operations Research**, v. 91, p. 145–159, 2018.
- ARENALES, M.; ARMENTANO, V.; MORABITO, R.; YANASSE, H.. **Pesquisa Operacional para cursos de Engenharia**. Rio de Janeiro: Campus/Elsevier, 2011.
- ATANASSOV, E.; DIMOV, I. T. What Monte Carlo models can do and cannot do efficiently? **Applied Mathematical Modelling**. v. 32, n. 8, p. 1477-1500, 2008.
- AWUDU, I.; ZHANG, J. Stochastic production planning for a biofuel supply chain under demand and price uncertainties. **Applied Energy**, v. 103, p. 189–196, 2013.
- BELFIORE, P.; FÁVERO, L. P.. **Pesquisa Operacional para cursos de Engenharia**. Rio de Janeiro: Campus/Elsevier, 2013.
- BORGONOVO, E.; PLISCHKE, E. Sensitivity analysis: A review of recent advances. **European Journal of Operational Research**, v. 248, n. 3, p. 869–887, 2016.
- BRE, F.; SILVA, A. S.; GHISI, E.; FACHINOTTI, V. D. Residential building design optimisation using sensitivity analysis and genetic algorithm. **Energy and Buildings**, v. 133, p. 853–866, 2016.
- CAIXETA FILHO, J. V. **Pesquisa operacional técnicas de otimização aplicadas a sistemas agroindustriais**. 2 ed. São Paulo: Atlas, 2009.
- CAUCHICK MIGUEL, P. A. Estudo de caso na engenharia de produção: estruturação e recomendações para sua condução. **Production**, v. 17, n. 1, p. 216–229, 2007.
- DJEUMOU FOMENI, F. A multi-objective optimization approach for the blending problem in

- the tea industry. **International Journal of Production Economics**, v. 205, p. 179–192, 2018.
- ENGELBRECHT, L., VAN RENSBURG, A.C.J. a strategic model of macro-economic and supply chain factors that influence the decision-making process of a retailer when expanding their footprint in African countries. **South African Journal of Industrial Engineering**, v. 29, n. December, p. 184–206, 2018.
- FAO. **Food Outlook- Biannual Report on global Food Markets**. 2019. Disponível em: <<http://www.fao.org/3/a-i3818e.pdf>>. Acesso em: 25 abr. 2019.
- GOLDBARG, M. C.; LUNA, H. P. L.. **Otimização combinatória e programação linear: modelos e algoritmos**. 2.ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2005.
- HURWITZ, C. CHOU, W. H.; CHANG, C. H.; PRAKASH, A. The determinants of firms' global diversification decisions. **Applied Economics**, v. 51, n. 30, p. 3274–3292, 2019.
- KHALILZADEH, M.; DERIKVAND, H. A multi-objective supplier selection model for green supply chain network under uncertainty. **Journal of Modelling in Management**, v. 13, n. 3, p. 605–625, 13 ago. 2017.
- KHALILZADEH, M.; DERIKVAND, H. A multi-objective supplier selection model for green supply chain network under uncertainty. **Journal of Modelling in Management**, v. 13, n. 3, p. 605–625, 13 ago. 2017.
- KUMARI, L; KUMAR, Y. V. Studies on quality practices in small & medium scale industries using statistical tools. **International Journal of Mechanical Engineering and Technology**, v. 9, n. 9, p. 631–646, 2018.
- LEWIS, C. **Linear Programming: Theory and Applications**. 2008. Disponível em: <<https://www.whitman.edu/Documents/Academics/Mathematics/lewis.pdf>> Acesso em: 25 abr. 2019.
- MORAES, L. E.; Fadel, J. G.; Castillo, A. R. Casper, D. P.; Tricarico, J. M.; Kebeab, E. Modeling the trade-off between diet costs and methane emissions: A goal programming approach. **Journal of Dairy Science**, v. 98, n. 8, p. 5557–5571, 2015.
- NEGAHBAN, Ashkan; SMITH, Jeffrey S. Simulation for manufacturing system design and operation: Literature review and analysis. **Journal of Manufacturing Systems**, v. 33, n. 2, p. 241–261, 2014.
- NIU, J.; TIAN, Z.; LU, Y.; ZHAO, H.; LAN, B. A robust optimization model for designing the building cooling source under cooling load uncertainty. **Applied Energy**, v. 241, n. February, p. 390–403, 2019.
- OECD-FAO. **OECD-FAO Agricultural Outlook 2014–2023-Commodity Database**. 2015. Disponível em: <<http://www.fao.org/3/a-i3818e.pdf>>. Acesso em: 25 abr. 2019.
- PAKSOY, T.; ÇALIK, A.; YILDIZBAŞI, A.; HUBER, S. Risk Management in Lean & Green Supply Chain: A Novel Fuzzy Linguistic Risk Assessment Approach BT - Lean and Green Supply Chain Management: Optimization Models and Algorithms. **Lean and Green Supply Chain Management**, p. 75–100, 2018.
- SAAD, B. M.; ALEXANDERIAN, A.; PRUDHOMME, S.; KNIO, O. M. Probabilistic modeling and global sensitivity analysis for CO<sub>2</sub> storage in geological formations: a spectral approach. **Applied Mathematical Modelling**, v. 53, p. 584–601, 2008.
- SAHOO, L.; KUMAR BHUNIA, A.; ROY, D. Reliability optimization in stochastic domain via genetic algorithm. **International Journal of Quality & Reliability Management**, v. 31, n. 6, p. 698–717, 27 maio 2014.
- SCHMIDT, N. S.; SILVA, C. L. Pesquisa e Desenvolvimento na Cadeia Produtiva de Frangos de Corte no Brasil. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 56, n. 3, p. 467–482, 2018.
- SOUZA, ALCEU; CLEMENTE, Ademir. **Decisões Financeiras e Análise de Investimentos:**

**fundamentos, técnicas e aplicações**. 6. ed. São Paulo: Atlas S. A., 2008.

TAHA, H. A. **Operations Research: An Introduction**. 8. ed. Upper Saddle River: Prentice Hall, 2007.

TALLENTIRE, C. W.; MACKENZIE, S. G.; KYRIAZAKIS, I. Environmental impact trade-offs in diet formulation for broiler production systems in the UK and USA. **Agricultural Systems**, v. 154, p. 145–156, 2017.

TASDEMIR, C.; GAZO, R. A systematic literature review for better understanding of lean driven sustainability. **Sustainability**, v. 10, n. 7, 2018.

WANG, X.; CRAINIC, T. G.; WALLACE, S. W. Stochastic network design for planning scheduled transportation services: The value of deterministic solutions. **INFORMS Journal on Computing**, v. 31, n. 1, p. 153–170, 2019.

ZAHEDI-SERESHT, M.; JAHANSHALOO, G.; JABLONSKY, J. A robust data envelopment analysis model with different scenarios. **Applied Mathematical Modelling**, v. 52, n. April 2016, p. 306–319, 2017.

ZHENG, Y. JENKINS, B. M.; KORNBLUTH, K.; KENDALL, A.; TAEHOLT, C. Optimization of a biomass-integrated renewable energy microgrid with demand side management under uncertainty. **Applied Energy**, v. 230, n. July, p. 836–844, 2018.