

# Simulação da dinâmica operacional do processo de embalagem e paletização de *steaks* empanados de frango: um estudo de caso

J. A. A. dos Santos; C.A. P. Schmidt; M. A. Bernardi

*Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 85884-000, Medianeira – PR, Brasil*

*airton@utfpr.edu.br;*

*(Recebido em 29 de agosto de 2012; aceito em 03 de setembro de 2013)*

---

Este trabalho teve como objetivo implementar um modelo computacional para simular a dinâmica operacional do processo de embalagem e paletização de *steaks* de frango. O modelo do tipo dinâmico, discreto e estocástico foi implementado no software de simulação Arena®. Como parâmetro de comparação entre os dados obtidos a partir do sistema e gerados pelo modelo foi selecionada a variável NBS (número de caixas de *steaks* produzidas durante um turno de trabalho). Na validação do modelo, por meio de Análise de Variância e do Teste de Tukey, não foram detectadas diferenças estatísticas entre os valores obtidos do sistema real e os gerados pelo modelo. Os resultados de simulação mostraram que podem ser dispensados, sem perda de produção, três funcionários do processo de embalagem e paletização.

Palavras-chave: Arena®; modelo de Simulação; *steaks* de frango

## **Simulation of the operational dynamic of an process of packing and palletizing of breaded chicken steaks: a case study**

This work was aimed to implement a computational model for simulating the operational dynamics of the process of packing and palletizing chicken steaks. The model of dynamic type, discrete and stochastic was implemented in the simulation software Arena®. As comparison parameter between the data obtained from the system and generated by model was chosen the NBS variable (Number of Boxes of Steaks produced during a work shift). At model validation, according to Analysis of Variance and of Tukey Test, it was not detected statistical differences between values obtained of the real system and those generated by the model. The simulation results showed that can be dispensed without loss of production, three employees of process of packaging and palletization.

Keywords: Arena®; simulation model; chicken steaks

---

## **1. INTRODUÇÃO**

Devido à eficiência na conquista do mercado exterior, através de estratégias de diferenciação de produtos, o setor agroindustrial avícola brasileiro pode ser considerado como referência de organização no país<sup>18</sup>. Atualmente, o setor representa um dos principais pesos nas exportações brasileiras e o Brasil é hoje o maior exportador de carne de frango do mundo<sup>4</sup>.

As indústrias envolvidas na exportação de frango de corte estão respondendo satisfatoriamente às mudanças nos hábitos alimentares e nas preferências do consumidor. Os cortes especiais, as porções/pedaços de frango ao invés do frango inteiro, com destaque para alguns produtos com alto valor adicionado, produtos com marca, alimentos congelados a base de frango, carnes pré-cozidas, empanados (*steaks* empanados de frango), associados ao baixo custo de produção justificam a posição do Brasil no cenário mundial da exportação de carne de frango<sup>17</sup>.

A eficiência de uma indústria, nos dias atuais, é extremamente importante para sua sobrevivência. Assim, é preciso que o processo produtivo seja organizado de modo que as perdas sejam mínimas, tanto de tempo como de produto. Para obter este resultado, diversas técnicas, ferramentas e instrumentos são disponibilizados aos dirigentes desses processos, muitos deles envolvem a tecnologia de gestão da informação. No entanto, qualquer processo de mudança precisa ser precedido de uma avaliação técnica que avalie as vantagens ou problemas

que poderão decorrer. Muitas dessas avaliações são realizadas mediante o uso de softwares de simulação<sup>14</sup>.

Segundo Banks<sup>1</sup>, simulação é uma técnica de solução de um problema pela análise de um modelo que descreve o comportamento de um sistema usando um computador digital. A simulação de um modelo permite entender a dinâmica de um sistema assim como analisar e prever o efeito de mudanças que se introduzam no mesmo. É uma representação próxima da realidade, e será tanto mais real quanto mais características significativas do sistema seja capaz de representar. Por outro lado, o modelo deve ser simples, de forma que não se torne demasiado complexo para se construir, mas ao mesmo tempo o modelo deve ser o mais fiel possível ao sistema real<sup>2</sup>.

Inicialmente, os sistemas de simulação foram desenvolvidos sobre linguagens de programação de propósito geral, tais como: Fortran, Basic, Pascal, etc. Porém, isso exigia um grande esforço para construção de modelos, além de profissionais com conhecimentos profundos de programação de computadores. Diante dessa dificuldade é que começaram a surgir linguagens de programação, dedicadas à simulação, que superassem essa barreira. É o caso, por exemplo, das linguagens Gpss, Siman, Slam, Simscript, etc. Tais linguagens eram, na verdade, bibliotecas formadas por conjuntos de macro comandos das linguagens de propósito gerais. Alguns dos simuladores da geração seguinte foram desenvolvidos sobre a plataforma dessas linguagens. Como exemplo tem-se o software Arena®, implementado na linguagem Siman<sup>7</sup>.

Dentre os pacotes de simuladores pesquisados, para realizar a simulação do processo de paletização, optou-se por utilizar, neste trabalho, o software Arena®, da Rockwell Software Corporation, por ser um dos softwares, de simulação discreta, mais utilizado no mundo empresarial e acadêmico.

Os frigoríficos, segundo conceitos da área de pesquisa operacional, podem ser visualizados como sistemas em que o conjunto de operações unitárias é realizado segundo uma lógica para obtenção de carne e derivados a partir do abate de animais como: aves, suínos e bovinos<sup>5</sup>. Este trabalho teve como objetivo implementar um modelo computacional para simular a dinâmica operacional de uma dessas operações unitárias, o processo de embalagem e paletização de *steaks* de frango.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa foi realizada em frigorífico altamente mecanizado, com capacidade de abate superior a 100 mil aves/dia. Nele, os cortes *in natura* destinam-se ao mercado interno e externo. A indústria realiza o processamento de carne de frango, resultando em empanados e cozidos. Os *steaks* empanados de frango são elaborados com carne de frango selecionada que passa por um processo de moagem. São cuidadosamente moldados, suavemente temperados, empanados, pré-fritos, cozidos e congelados.

O processo de embalagem e paletização, é iniciado com a embalagem dos *steaks*, em pacotes plásticos, por duas máquinas embaladoras, com velocidade de 230 pacotes/minuto cada. A seguir, os pacotes seguem, em uma velocidade de 0,47 m/s, através de uma esteira de 11,5 m até o setor de embalagem secundária. Neste setor, os pacotes são embalados, por funcionários, em caixas de papelão, com dimensões 490 x 258 x 115 mm, de 45 peças. Depois do processo de embalagem, as caixas são enviadas para os processos de selagem e paletização (1 palete – 196 caixas). Finalmente, os paletes são transportados para o setor de estoque. Atualmente, o sistema (Figura 1) conta com onze funcionários no processo de embalagem (embaladores) e dois nos processos de selagem e paletização (seladores). A cada duas horas, o sistema foi interrompido por dois minutos, para paradas ergonômicas.

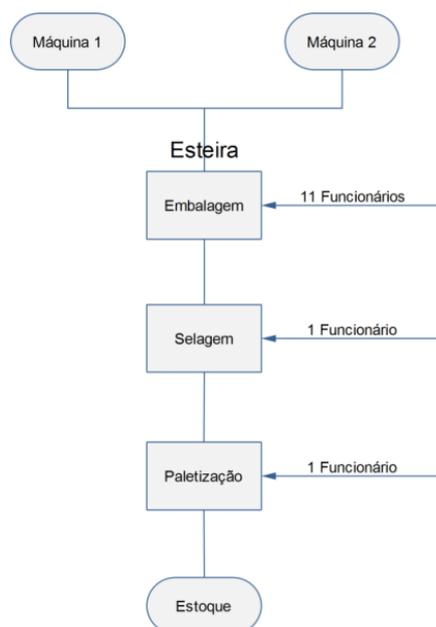


Figura 1: Fluxograma do sistema.

O Arena® é um ambiente gráfico integrado de simulação, que contém inúmeros recursos para modelagem, animação, análise estatística e análise de resultados. A plataforma de simulação Arena® possui as seguintes ferramentas<sup>6</sup>:

- i. Analisador de dados de entrada (*Input Analyzer*);
- ii. Analisador de resultados (*Output Analyzer*);
- iii. Analisador de processos (*Process Analyzer*).

Este software é composto por um conjunto de blocos (ou módulos) utilizados para se descrever uma aplicação real e que funcionam como comandos de uma linguagem de programação. Os elementos básicos da modelagem em Arena® são as entidades que representam as pessoas, objetos e transações, que se movem ao longo do sistema; as estações de trabalho que demonstram onde será realizado algum serviço ou transformação, e por fim, o fluxo que representa os caminhos que a entidade irá percorrer ao longo de estações<sup>8</sup>.

No planejamento, da coleta de dados, concluiu-se que seria necessário determinar as seguintes variáveis: Tempos de Embalagem (TE); Tempos de Selagem (TS) e Tempos de Paletização (TP).

Estes dados foram analisados com a ferramenta *Input analyzer* (analisador de dados de entrada) do software Arena®. Esta ferramenta permite analisar dados reais do funcionamento do processo e escolher a melhor distribuição estatística que se aplica a eles<sup>14</sup>.

A simulação da dinâmica operacional do processo de embalagem e paletização foi realizada com o software Arena®, e os resultados analisados nas ferramentas *Output Analyzer* e *Process Analyzer*.

## 2.1. Número de replicações

A coleta de dados para a composição de uma amostra a partir da simulação de um modelo pode ser realizada de duas formas<sup>6</sup>:

1. Fazer uso das observações individuais dentro de cada replicação. Por exemplo, pode-se simular o processo e utilizar o tempo que cada caixa esperou na fila da selagem para realizar uma estimativa do tempo médio de espera na fila. Neste caso, o tamanho da amostra será igual à quantidade de caixas que passaram pela fila ao longo do período simulado.
2. A segunda maneira de gerar a amostra é realizar  $n$  simulações (replicações). Assim, cada replicação gera um elemento para a amostra. Uma vez que estamos lidando com um sistema terminal no qual as condições iniciais e o período de simulação são fixos, a melhor

maneira de garantir que os valores da amostra sejam estatisticamente independentes é obtê-los a partir de replicações independentes.

O número de replicações ( $n^*$ ) foi obtido através da seguinte expressão:

$$n^* = n \times \left(\frac{h}{h^*}\right)^2 \quad (1)$$

onde:

$n$  - número de replicações já realizadas;

$h$  - semi-intervalo de confiança já obtido; e

$h^*$  - semi-intervalo de confiança desejado.

## 2.2. Validação do modelo

A validação teve como objetivo proceder à comparação de valores de variáveis geradas pelo modelo com os obtidos do sistema real<sup>16</sup>. Na execução do procedimento de validação, para o sistema em estudo, foi realizada uma comparação de médias por meio: (i) de análise de variância (ANOVA), utilizando a ferramenta de análise de dados do Microsoft Excel, e pelo Teste de Tukey, através do software ASSISTAT Versão 7.6<sup>15</sup>; (ii) calculado o erro médio estimado<sup>10</sup>:

$$SE = \sqrt{\frac{(SR-MD)^2}{GLR}} \quad (2)$$

onde:

$SE$  – erro médio estimado;

$SR$  – valor obtido a partir do sistema real;

$MD$  – média dos valores gerados pelo modelo;

$GLR$  – grau de liberdade considerando o número de replicações do modelo.

A análise de variância é um teste estatístico amplamente difundido entre os analistas, e visa fundamentalmente verificar se existe uma diferença significativa entre as médias de dois ou mais grupos<sup>11</sup>.

## 2.3. Tamanho da amostra

O tamanho de cada uma das três amostras, cronometradas foi obtida, para um nível de confiança de 95%, através da seguinte expressão:

$$n_A = \left(\frac{Z_{\alpha/2} \times S}{E}\right)^2 \quad (3)$$

onde:

$n_A$ - número de indivíduos da amostra;

$Z_{\alpha/2}$ - valor crítico que corresponde ao grau de confiança desejado;

$S$ - desvio padrão;

$E$ - erro máximo estimado.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A variável TE (Tempos de Embalagem) apresentou a maior mediana e a maior média entre os dados coletados no processo de embalagem e paletização (Tabela 1). Já os coeficientes de variação para as três variáveis coletadas foram 7,56%, 32,61% e 35,12%. Segundo Pimentel Gomez<sup>13</sup>, nos experimentos de campo, se o coeficiente de variação for inferior a 10% tem-se um coeficiente de variação baixo, de 10 a 20% médio, de 20 a 30% alto e acima de 30% muito alto.

Tabela 1: Análise exploratória dos dados coletados no frigorífico.

Parâmetro analisado	TE	TS	TP
Média	61,81	2,97	3,12
Mediana	61,25	2,90	2,93
1 Quartil (Q <sup>1</sup> )	59,53	2,21	2,31
3 Quartil (Q <sup>3</sup> )	64,45	3,42	3,47
Desvio Padrão	4,67	0,97	1,10
Coeficiente de Variação	7,56%	32,61%	35,12%

Após a análise exploratória, realizou-se à análise de correlação entre os dados, ou seja, verificou se há dependência entre os valores das amostras<sup>9</sup>. Não houve correlação entre as observações da amostra (Figura 2).

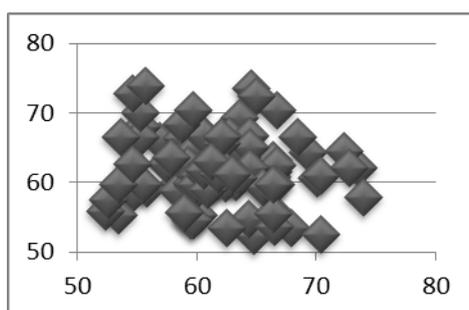


Figura 2: Gráfico de dispersão – Tempos de embalagem (segundos).

#### 3.1. Tratamento de Dados

Inicialmente, os dados foram plotados em forma de *boxplots* (Figura 3) para uma análise preliminar do comportamento das observações.

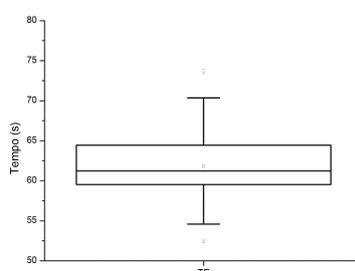


Figura 3: Boxplot dos Tempos de Embalagem.

A seguir, aplicou-se a técnica de identificação de *outliers* (valores fora da normalidade) apresentada na Tabela 2<sup>12</sup>. As razões mais comuns para o surgimento desses valores são os erros

na coleta de dados ou eventos raros e inesperados. Os *outliers* considerados como extremos só foram descartados, das amostras, depois de uma análise criteriosa de suas causas. Os valores julgados como possíveis de ocorrer foram mantidos nas amostras.

Tabela 2: Identificação de outliers.

<b>Outliers</b>
$A=Q^3-Q^1$
Valor $< Q^1-1,5A$ - <i>Outlier Moderado</i>
Valor $> Q^3+1,5A$ - <i>Outlier Moderado</i>
Valor $< Q^1-3,0A$ - <i>Outlier Extremo</i>
Valor $> Q^3+3,0A$ - <i>Outlier Extremo</i>

$Q^1$  e  $Q^3$  são, respectivamente, os valores do primeiro e terceiro quartis, assim a amplitude entre inter-quartil "A" é calculada pela diferença:  $A=Q^3-Q^1$ .

Após a utilização da técnica de identificação dos *outliers*, o passo seguinte foi determinar as curvas de distribuição teórica de probabilidades que melhor representem o comportamento estocástico do sistema em estudo, através da ferramenta *Input Analyzer* do Arena®. Como os *p-values* dos testes de aderência: teste Chi Square e do teste Kolmogorov-Smirnov são maiores que o nível de significância adotado (0,1)<sup>3</sup>, concluiu-se que as distribuições, apresentadas na Tabela 3, são as expressões que melhor se adaptaram aos dados coletados no sistema.

Tabela 3: Distribuições de probabilidade.

<b>Itens</b>	<b>Distribuição</b>	<b>Chi Square</b>	<b>Kolmogorov-Smirnov</b>
TE	TRIA(52,60.2,74.8)	<i>p-value</i> =0,416	<i>p-value</i> =0,293
TS	1+ERLA( 0.494,4)	<i>p-value</i> =0,586	<i>p-value</i> =0,654
TP	LOGN( 0.643,0.455)	<i>p-value</i> =0,283	<i>p-value</i> =0,521

### 3.2 Validação do modelo implementado

A comparação entre a média obtida do sistema real com a média gerada pelo modelo para a variável NBS (Número de Caixas de *Steaks*) são apresentados na Tabela 4. Nesta tabela apresenta-se, também, o erro médio estimado.

Tabela 4: Dados do sistema real e do modelo.

<b>Número de Caixas de Steaks - NBS</b>		
<b>Sistema Real</b>	<b>Modelo Computacional</b>	<b>Erro Médio Estimado</b>
3386	3382	0,87

Ao ser aplicado a análise de variância (Tabela 5), a 1% de significância, na comparação das médias obtidas a partir do sistema real e as geradas pelo modelo de simulação, para a variável NBS (Número de Caixas de *Steaks* produzidas em um turno de trabalho), não foram constatadas diferenças estatísticas. Através dos dados apresentados na Tabela 5, observou-se que  $F_0$  é menor que  $F_{\text{crítico}}$  ( $F_0=0,008897$  enquanto  $F_{\text{crítico}}= 8,095958$ ).

Tabela 5: Análise de variância.

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F <sub>0</sub>	valor-P	F <sub>crítico</sub>
Linhas	449384,8	20	22469,24	1,014104	0,487663	2,937735
Colunas	197,1378	1	197,1378	0,008897	0,925789	8,095958
Erro	443134,8	20	22156,74			
Total	892716,7	41				

Aplicou-se o Teste de Tukey a 5% de significância, e não foram constatadas diferenças estatísticas entre as médias.

Considerando as discussões apresentadas, pode-se afirmar que o modelo computacional é recomendado para os objetivos propostos neste trabalho.

### 3.3 Simulação

Para a realização da análise do sistema em estudo, foram propostos seis cenários com o objetivo de observar a resposta do sistema a partir de alterações no número de funcionários. Os indicadores de desempenho utilizados para a análise foram: a quantidade de caixas de *steaks* produzidas em um turno de trabalho e a porcentagem de utilização dos funcionários.

- Cenário 1: Sistema constituído por 7 embaladores e 1 selador;
- Cenário 2: Sistema constituído por 9 embaladores e 1 selador;
- Cenário 3: Sistema constituído por 11 embaladores e 1 selador.
- Cenário 4: Sistema constituído por 7 embaladores e 2 seladores;
- Cenário 5: Sistema constituído por 9 embaladores e 2 seladores;
- Cenário 6: Sistema constituído por 11 embaladores e 2 seladores (Cenário atual).

Na Tabela 6 apresentam-se os resultados obtidos, da simulação do sistema, para os seis cenários. Observa-se que os resultados foram obtidos após 21 replicações. Este número de replicações foi definido, com nível de confiança de 95%, utilizando a ferramenta *Output Analyzer* do *Arena*®.

Tabela 6: Resultados de simulação dos cenários 1, 2, 3, 4, 5 e 6.

Cenários	Embaladores	Seladores	Caixas	Utilização	
				Embalador	Selador
1	7	1	3250	98,30%	39,80%
2	9	1	3378	79,50%	41,30%
3	11	1	3382	65,20%	41,30%
4	7	2	3250	98,30%	19,90%
5	9	2	3378	79,50%	20,70%
6	11	2	3382	65,20%	20,70%

Através dos resultados obtidos de simulação, constatou-se que:

- o cenário com 7 embaladores, foi impraticável, devido a perda de produção e a utilização dos funcionários estar próxima de 100%.
- os funcionários do cenário atual (11 embaladores e 2 seladores) foram subutilizados.
- pode-se diminuir três funcionários (cenário 2): dois funcionários no setor de embalagem e um no setor selagem/paletização.

Cada funcionário tem um custo mensal para empresa de R\$ 1.956,32. Assim, a dispensa de três funcionários contabilizaria R\$ 5.868,96 por mês. O cenário 6 produz, por turno, 4 caixas a mais que o cenário 2, totalizando um valor mensal de R\$ 1.480,4. Portanto, considerando o cenário 2 (dispensa de três funcionários) e o cenário 6 (cenário atual) obteve-se uma diferença mensal de R\$ 4.388,56 a favor do cenário 2 (Tabela 7).

Tabela 7: Comparativo financeiro entre os cenários 2 e 6.

Cenários	Itens	Custo (R\$)	Quantidade	Total Mensal (R\$)
Cenário 2	Funcionários	1.956,32	3	5.868,96
Cenário 6	Caixas de <i>Steaks</i>	18,51	80/mês	1.480,4
<b>Resultado=</b>				<b>4.388,56</b>

#### 4. CONCLUSÕES

O modelo computacional pode ser aplicado para simular a dinâmica operacional do processo de embalagem e paletização do frigorífico, principalmente na previsão da variável NBS (Número de Caixas de *Steaks* produzidas em um turno de trabalho).

Para as condições simuladas neste trabalho, pode-se dispensar três funcionários do processo de embalagem e paletização, obtendo-se um lucro mensal de R\$ 4.388,56 por turno.

A aplicação da simulação computacional gerou um conhecimento adicional à cerca do processo para todos os envolvidos e possibilitou, também, a identificação de oportunidades de melhorar o processo de embalagem e paletização de *steaks* de frango.

1. Banks, J. *Handbook of simulation: principles, methodology, advances, applications, and Practice*. New York: John Wiley & Sons, 1998.
2. Barbosa, R. A. A Modelagem e Análise do Sistema de Filas de Caixas de Pagamento em uma Drograria: Uma Aplicação da Teoria das Filas In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 2009, Salvador. *Anais...* Salvador: ENEGEP, 2009.
3. Chwif, L.; Medina, A. C. *Modelagem e simulação de eventos discretos, teoria & aplicações*. São Paulo: Brazilian Books, 2007.
4. Ebert, D. C.; Silva, C. S.; Vilas Boas, M. A. Simulação da Dinâmica Operacional de um processo industrial de abate de aves. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, v. 26, 305-309, 2009.
5. Fernandes, C. A.; Silva, C. S.; Pereira, J. O. Yamaguchi, M. M. Simulação da Dinâmica Operacional de uma Linha Industrial de Abate de Suínos. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, v.26, 166-170, 2006.
6. Freitas Filho, P. J. *Introdução à Modelagem e Simulação de Sistemas com Aplicações em Arena*. Florianópolis: Visual Books, 2008. 305 p.
7. Law, A. M.; Kelton, W. D. *Simulation modeling and analysis*. New York: McGraw- Hill, 2000.
8. Kelton, W. D.; Sadowski, R. P; Sadowski, D. A. *Simulation with arena*. New York: McGraw-Hill, 1998.
9. Marin, T.; Tomi, G. F. C. Modelagem de dados de entrada para simulação estocástica del lavra. *Revista Escola de Minas*, v.60, 559-562, 2010.
10. Menner, W. A. *Introduction to modeling and simulation*. New York: JohnsHopkins APL Technical Digest, 1995.
11. Montgomery, D. C. *Design and Analysis of Experiments*. New York: Wiley, 2005.
12. Morroco, J. *Análise estatística de dados – com utilização do SPSS*. Lisboa: Sílabo, 2003.
13. Pimentel Gomes, F. *Curso de estatística experimental*. Piracicaba: Degaspari, 2000. 477 p.
14. Prado, D. *Usando o ARENA em simulação*. v.3, 4ed. Nova Lima: INDG - Tecnologia e Serviços LTDA, 2010. 307 p.
15. Silva, F. A. S.; Azevedo, C. A. V. Versão do Programa Computacional ASSITAT para o sistema Windows. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, Campina Grande, v.4, n.1, p.71-78, 2002.
16. Sargent, R. G. Verification and validation of simulation models. In: WINTER THE SIMULATION CONFERENCE, 1998, Washington. *Proceedings...* Washington: WSC, 1998.
17. Rodrigo , F. S. Estratégias de marketing da cadeia agroexportadora brasileira de frango de corte. Seminário de Administração FEA-USP. 2007. Disponível em: <[http://www.ead.fea.usp.br/semead/10semead/sistema/resultado/an\\_resumo.asp?cod\\_trabalho=491](http://www.ead.fea.usp.br/semead/10semead/sistema/resultado/an_resumo.asp?cod_trabalho=491)>. Acesso em: 18 ago. 2012.
18. Tavares, L. P.; Ribeiro, K. C. S. Desenvolvimento da avicultura de corte brasileira e perspectivas frente a influenza aviária. *Organizações Rurais & Agroindustriais*, v. 9, 79-88, 2007.