

MODELO DE SIMULAÇÃO APLICADO A UM MOINHO DE EMBALAGENS DE PET

Luciangela Galletti da Costa

PEP/COPPE/UFRJ

Universidade Federal do Rio de Janeiro

Sala I-236 – Centro de Tecnologia – Engenharia de Produção

(21) 2562-7848

luciangela@pep.ufrj.br

Rogério Valle

PEP/COPPE/UFRJ

Universidade Federal do Rio de Janeiro

Sala I-236 – Centro de Tecnologia – Engenharia de Produção

(21) 2562-7848

valle@pep.ufrj.br

Alberto Gabbay Canen

PEP/COPPE/UFRJ

Universidade Federal do Rio de Janeiro

Sala F-123 – Centro de Tecnologia – Engenharia de Produção

(21) 2562-7047

agcanen@pep.ufrj.br

Resumo

Este estudo tem como objetivo aplicar um modelo de Simulação, utilizando o programa ARENA, para encontrar o dimensionamento adequado dos recursos a serem aplicados num processo de reciclagem de embalagens de PET.

Palavras-Chave: Simulação, Programa ARENA, Embalagens de PET

Abstract

The aim of this research is to present a case study regarding the recycling process of PET bottles, using simulation with ARENA software, with the goal of finding the proper dimensions of resources.

KeyWords: Simulation, ARENA Software, PET Bottles

1. Introdução

A recuperação de produtos e materiais tem recebido grande atenção devido ao esgotamento da capacidade de incineração, à falta de espaço para construção de novos aterros sanitários e à maior conscientização da população em relação à proteção ambiental. Os bens descartados podem ser transformados em fontes de materiais ou produtos reaproveitáveis. (Fuller & Allen, 1995)

É neste contexto que a Pesquisa Operacional (PO) se insere, pois algumas de suas técnicas, quando bem empregadas, poderão auxiliar na aplicação das atividades de recuperação de produtos de forma sólida, econômica e eficiente. De acordo com Talcott, *apud* Bloemhof-Ruwaard, et al. (1995), são inúmeras as oportunidades oferecidas pela PO para se obter um processo adequado e eficiente.

Por meio de técnicas da PO, por exemplo a Programação Linear, pode-se verificar a possibilidade de efetuar um transporte combinado - integrar as distribuições direta e reversa, analisando a viabilidade econômica. Outras técnicas, como a Simulação, podem ser empregadas para verificar onde localizar pontos de recebimentos de produtos recicláveis, centros de reparo de produtos danificados, pontos de apoio para a seleção e inspeção de materiais recolhidos, local para estocagem de material usado, além de analisar quantos postos de serviços são necessários instalar.

Objetivando enriquecer o tema, este artigo apresenta um modelo de simulação onde o processo produtivo da reciclagem de embalagens de PET da empresa estudada é analisado. A Simulação utilizando o aplicativo Arena foi utilizada para verificar a melhor aplicação de recursos no processo de reciclagem de embalagens de PET, objetivando conhecer a capacidade de produção do sistema, bem como a formação de filas no processamento da reciclagem dessas embalagens. Optou-se pelo programa ARENA por apresentar ambiente de trabalho amigável e facilidade para a modelagem e depuração do problema, permite que se visualize “em tempo real”, por meio de animação, o modelo que se está simulando, além de gerar relatórios com os resultados obtidos.

2. O Funcionamento da Reciclagem na Empresa Estudada

A empresa estudada não efetua a coleta das embalagens PET. O material é comprado de coletadores informais da comunidade local e de terceiros, que realizam as etapas preliminares na revalorização do PET - prensagem e enfardamento do material. Os fardos pesam, aproximadamente 100 kg e têm volume de 0,5 m³. As embalagens de PET são prensadas para economizar espaço, principalmente no transporte, formando fardos que são amarrados com arames de plástico ou sisal. Procura-se evitar o arame de ferro, pois, ao enferrujar, contamina o material.

A empresa estudada realiza o processo de reciclagem mecânica como poderá ser visto a seguir:

- ✓ Primeiramente, é feita - manualmente - a separação da sucata de PET, fiscalizando a presença de possíveis contaminantes, e efetuando a imediata separação por cor - que tem por objetivo a uniformidade, facilitando a aplicação no processo de transformação. Cabe mencionar que os fardos vão sendo desfeitos a medida que vão sendo separados;
- ✓ Após, é realizada a inspeção: são verificados possíveis contaminantes e a uniformidade de cores e materiais;
- ✓ A próxima estação é o moinho: nela ocorre a moagem com água para transformar o PET em flocos moídos;
- ✓ Os flocos moídos de PET seguem para o tanque de lavagem, onde sujeiras - como areia - por exemplo, são removidas;
- ✓ Na próxima estação - o tanque de separação - o material é coberto por água. Ao receber os flocos de PET, os rótulos e tampas são separados porque ficam boiando e são jogados para um barril plástico onde são separados e a água é, então, enviada para a caixa d'água, para que seja reaproveitada no processo;
- ✓ Os flocos - após separados dos rótulos e tampas - são conduzidos, numa esteira, para o silo. No caminho, vão sendo secos. Finalmente, são armazenados em bolsões (*big bags*), tornando-se prontos para seguirem à indústria de transformação.

Na Tabela 1, podem ser vistos os números da reciclagem de embalagens de PET no Brasil:

Tabela 1 – Reciclagem de Embalagens de PET no Brasil

Ano	Consumo (mil toneladas)	Reciclagem (mil toneladas)	% Reciclado/ Consumo
1994	80	13	16
1995	120	18	15
1996	150	22	15
1997	185,7	30	16
1998	223,6	40	18
1999	244,8	50	20
2000	255,1	67	26
2001	270,0	89	33
2002	300,0	105	35
2003	329,1	141,5	43
2004	355,3	167	47

Fonte: ABIPET (2006)

Como pode ser observado na Tabela 1, o consumo e a reciclagem do PET vêm crescendo ao longo dos anos. Este crescimento acentuado está relacionado ao mercado de embalagens - principalmente o de embalagens de bebidas, como refrigerantes, água e sucos – pois os materiais plásticos de embalagem que possuem PET na sua constituição apresentam resina de boa qualidade, o que proporciona alto índice de utilização e agrega valor às embalagens, despertando o interesse no processo de reciclagem.

É considerável a perda de embalagens descartadas e que acabam não sendo coletadas.

3. Aplicações dos Resíduos Sólidos Resultantes da Reciclagem das Embalagens de PET

São várias as aplicações do PET reciclado:

indústria automotiva e de transportes - tecidos internos (estofamentos), carpetes, peças de barco e paraquedas;

pisos - carpetes, capachos para áreas de serviço e banheiros;

artigos para residências - enchimento para sofás e cadeiras, travesseiros, cobertores, tapetes, cortinas, lonas para toldos e barracas;

artigos industriais e para a construção civil - rolos para pintura, cordas, filtros, reforços para concreto, asfalto e rebocos e mantas de impermeabilização;

embalagens - garrafas para produtos de limpeza, embalagens para cosméticos e fitas para decorar;

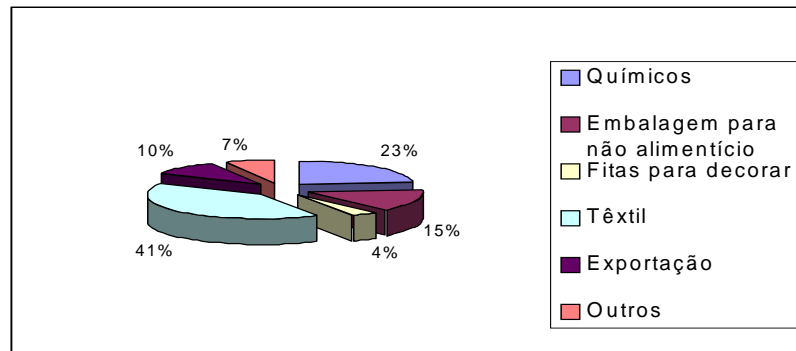
vestuário, calçados e bolsas - têxteis, roupas esportivas, calçados, malas, mochilas, vestuário em geral;

uso químico - resinas alquídicas, adesivos.

Na Figura 1, pode ser verificada a distribuição dos mercados para o PET reciclado no Brasil:

Figura 1 - Mercados para o PET Reciclado

Fonte: ABIPET (2006)



Como pode ser observado na Figura 1, o maior mercado no Brasil para o PET pós-consumo reciclado é a indústria têxtil, onde os filamentos de PET - também conhecidos como fibras de poliéster - vêm ganhando espaço, sendo utilizados na fabricação de calça “jeans”, blusas, cintos, entre outros. Algumas roupas – como as peças de microfibras - são produzidas com 100% de poliéster. São, também, utilizados em outras indústrias, trazendo os produtos feitos com PET reciclado para o nosso dia-a-dia: roupas, tecidos, vassouras, novas embalagens de produtos não alimentícios, fitas para decorar e outros mais.

No caso da empresa estudada, os flocos de PET produzidos são fornecidos para indústrias dos segmentos têxtil e químico, sendo o principal cliente fabricante de embalagens não-alimentícias.

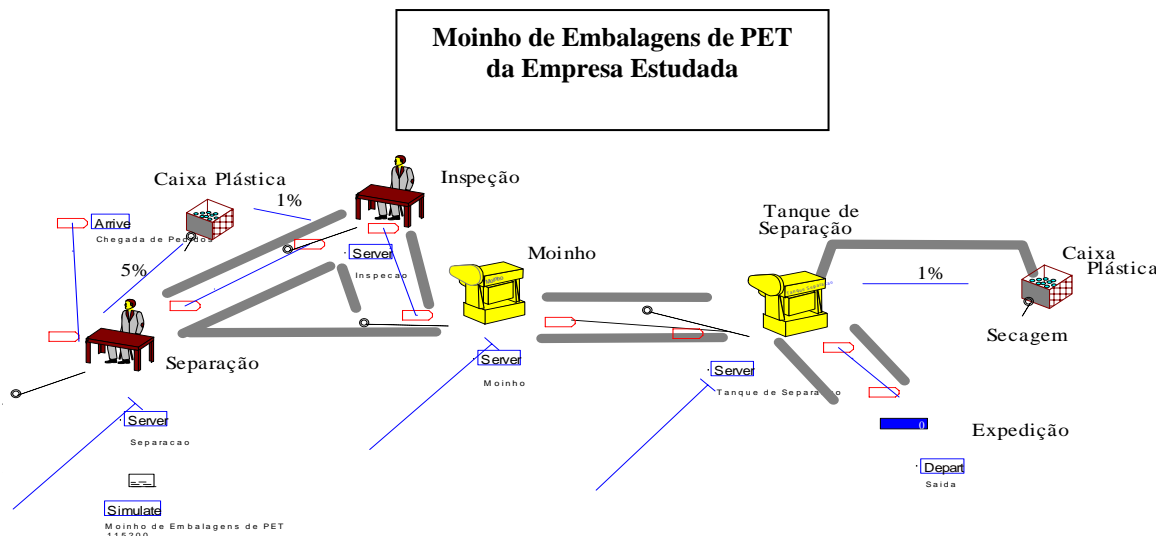
4. Formulação do Problema

As simulações são fundamentadas em modelos que são a descrição simplificada e idealizada do sistema. Para se efetuar uma simulação, é necessária a formulação do problema, por meio da qual se aplica a simulação e obtém-se resultados que poderão ser utilizados em tomadas de decisões sobre o modelo avaliado. Este trabalho estuda a simulação das operações de funcionamento de um moinho de embalagens de PET.

O ARENA permite visualizar o sistema a ser modelado, constituído de um conjunto de estações de trabalho que prestam serviços a clientes, chamados de entidades e se movem através do sistema. No caso estudado, a entidade é o lote de PET e as estações de trabalho são: separação, inspeção, moinho, lavagem e tanque de separação, mencionadas de acordo com a seqüência do fluxo que a entidade percorre o sistema.

Deste modo, o modelo foi montado contendo as estações de trabalho – local onde a entidade recebe o atendimento - e o fluxo percorrido pela entidade no sistema. A versão do programa ARENA utilizada foi a 7.0 (*training evaluation*) e a representação gráfica do modelo pode ser vista na Figura 2. Após delineado o sistema, foi necessário inserir dados em cada um dos módulos que representam as estações de atendimento, como por exemplo, o tempo médio que cada estação de trabalho leva para atender. Este dimensionamento serviu para tratar das variáveis - como tempo de espera da entidade para atendimento, ou seja, para a fila gerada em cada estação e o número ideal de atendentes que suporte um aumento ou diminuição da demanda. Em simulação, estas variáveis são aleatórias, isto é, são descritas por distribuição de probabilidades.

Figura 2 - Moinho de Embalagens de PET – Empresa Estudada



Através do estudo de caso é possível avaliar o funcionamento do moinho de embalagens de PET da empresa estudada com relação aos recursos disponíveis do sistema. A empresa necessitava conhecer melhor o comportamento do sistema produtivo em relação à alocação dos recursos humanos, ou seja, saber como seria seu comportamento à medida que estes recursos variavam tanto para mais como para menos. Assim, após realizada a simulação do sistema produtivo do moinho, é apresentada uma análise de sensibilidade por meio de algumas alterações dos recursos disponíveis. Este mecanismo de avaliação serve para que se possam efetuar comparações entre as alternativas de recursos oferecidas e suas alterações afim de encontrar o melhor balanceamento do sistema produtivo. Deste modo, procura-se encontrar um modelo que melhor aproveite os recursos disponíveis, auxiliando na tomada de decisões quanto as operações e recursos oferecidos pelo moinho da empresa.

Através do levantamento de campo foram obtidos os seguintes dados:

- ✓ Entidade: Lotes de fardos de PET (cada lote possui 4 fardos)
- ✓ Recursos humanos: 24 pessoas na estação de separação e 08 pessoas na estação de inspeção. Cabe mencionar que esta configuração base apresentará variações quando da realização da análise de sensibilidade;
- ✓ Recursos materiais: 01 moinho, 01 máquina de lavagem e 01 tanque de separação;
- ✓ Percentuais Médios de Rejeição: 5% do material passado pela estação de separação, 1% da estação de inspeção e 1% da estação tanque de separação;
- ✓ Peso Médio do Fardo: 100 Kg ; (em cada quilograma de PET há aproximadamente 20 garrafas);
- ✓ Lote de Fardo: 4 fardos, aproximadamente 400 Kg; (os fardos são levados em lotes para a estação separação);
- ✓ Tempo de Simulação: 1 ano que é equivalente a 115.200 minutos, uma vez que o moinho funciona em média 240 dias no ano por 08 horas por dia;

4.1 Dados Referentes à Chegada de Lotes de Fardos de PET no Processo Produtivo

A Tabela 2 contém informações sobre a chegada de lotes de fardos de PET no sistema produtivo da empresa estudada, a cada 10 minutos. Os dados apresentados correspondem a

480 minutos que é uma amostra de 1 dia útil de funcionamento do moinho com 8 horas de trabalho. Observa-se que nos primeiros dez minutos chegaram 4 lotes, nos dez seguintes não chegou nenhum, e assim sucessivamente, até que nos últimos 10 minutos chegou 1 lote.

Tabela 2 - Chegada de Lotes de Fardos de PET na Produção por Intervalos de 10 Minutos

Ordem	N ^o	Ordem	N ^o	Ordem	N ^o	Ordem	N ^o
1	4	13	1	25	0	37	0
2	0	14	0	26	0	38	1
3	0	15	2	27	2	39	0
4	1	16	0	28	0	40	0
5	0	17	0	29	0	41	1
6	3	18	1	30	2	42	0
7	3	19	0	31	1	43	1
8	0	20	2	32	0	44	0
9	0	21	0	33	0	45	1
10	1	22	0	34	1	46	0
11	0	23	0	35	0	47	0
12	2	24	1	36	0	48	1

Para verificar a distribuição de probabilidade que melhor se ajusta aos dados reais da chegada de lotes de fardos mostrados na Tabela 2, foi efetuada uma análise exploratória que apresenta as frequências observadas dessas chegadas. A Tabela 3, apresenta estes dados.

Tabela 3 - Frequências Absoluta e Relativa Simples e Acumuladas

Ritmo	Frequências Simples		Frequências Acumuladas	
	Absoluta	Relativa	Absoluta	Relativa
0	28	0,58	28	0,58
1	12	0,25	40	0,83
2	5	0,11	45	0,94
3	2	0,04	47	0,98
4	1	0,02	48	1,00
Total	48	1,00	-----	-----

A primeira coluna da Tabela 3 indica o número de lotes de fardos de PET que chegaram na produção a intervalos de 10 minutos. Na segunda coluna pode-se observar que em 28 intervalos de 10 minutos não houve chegada de lotes de fardos de PET, em 12 intervalos de 10 minutos houve a chegada de 1 lote, e assim sucessivamente, até que em 1 intervalo de 10 minutos houve a chegada de 4 lotes. A terceira coluna, apresenta as frequências absolutas relativas, a quarta as frequências absolutas acumuladas e a quinta as frequências relativas acumuladas.

4.2 Análise dos Dados de Chegada de Lotes de Fardos de PET na Produção Segundo a Distribuição de Poisson

Os processos de chegada, geralmente, seguem a distribuição de Poisson. Deste modo, será utilizada a média amostral, que é o parâmetro dessa distribuição, para analisar o comportamento dos dados de chegada de lotes de PET ao sistema produtivo da empresa.

Levando em consideração que os dados reais foram agrupados numa distribuição de frequências tem-se que:

Se as observações numa amostra de tamanho “n” são $x_1, x_2, x_3, x_4, \dots, x_n$, a média amostral (\bar{x}) é definida por:

$$\bar{x} = \sum_{i=1}^n \frac{fix_i}{n}$$

$$\bar{x} = \sum_{i=1}^4 \frac{28.0 + 12.1 + 5.2 + 2.3 + 1.4}{48} = \frac{32}{48} = 0,67 \text{ lotes de fardos a cada 10 minutos}$$

Por meio de um teste estatístico pode-se verificar se os dados referentes ao comportamento da chegada de lotes de PET por intervalos de 10 minutos seguem a distribuição de Poisson. Para tanto, é necessário calcular o conjunto das probabilidades e as respectivas frequências esperadas, utilizando o modelo de Poisson cuja fórmula é apresentada a seguir:

$$P(x_i) = \frac{e^{-\lambda} \lambda^x}{x!}$$

A Tabela 4 apresenta as probabilidades para os valores da chegada de lotes de fardos de PET (ritmo) fornecidas pelo modelo de Poisson e utilizando-se como parâmetro da média populacional o valor médio amostral $\lambda t = 0,67$ fardos a cada 10 minutos.

Tabela 4 - Probabilidades para os Valores da Chegada de Lotes de Fardos de PET (ritmo) Fornecidas pelo Modelo de Poisson

(x_i)	$P(x_i)$
0	0,51
1	0,34
2	0,11
3	0,03
4	0,004

Uma vez calculadas as probabilidades de Poisson, foi possível calcular as frequências esperadas por meio da expressão $E_i = n.P(x_i)$, onde n é igual ao número total de observações e $P(x_i)$ é igual as probabilidades associadas a cada x_i . A Tabela 5 apresenta o resultado deste cálculo:

Tabela 5 - Frequências Absolutas Esperadas Obtidas com o Modelo de Poisson

Ritmo (x_i)	Frequência Absoluta Observada O_i	Frequência Absoluta Esperada E_i
0	28	24,48
1	12	16,32
2	5	5,28
3	2	1,44
4	1	0,19

Para verificar se os valores encontrados se ajustam ao modelo de Poisson aplicado, foram formuladas as seguintes hipóteses:

H_0 : a variável aleatória se distribui de acordo com a lei de Poisson;

H_1 : a variável aleatória não se distribui segundo a lei de Poisson

O teste do qui-quadrado (χ^2) foi utilizado para verificar cada uma dessas hipóteses.

4.3 Teste do Qui-quadrado

Para aplicação do teste do qui-quadrado, quando houver células com valores esperados inferiores a 5, recomenda-se reuní-los numa única célula, a fim de torná-los iguais ou superiores a este valor. (Spiegel, 1972).

A Tabela 6 apresenta as freqüências observadas e esperadas, de acordo com a recomendação de unir numa única célula os valores inferiores a 5, como também os valores do qui-quadrado:

Tabela 6 - Freqüências Observadas, Esperadas e Valores do Qui-quadrado

Ritmo (x_i)	Freqüências Observadas (O_i)	Freqüências Esperadas (E_i)	$(O_i - E_i)^2 / E_i$
0	28	24,48	0,51
1	12	16,32	1,14
(2-4)	8	6,91	0,17
Total	-----	-----	1,82

Regra de Decisão:

Se χ_0^2 for $\leq \chi^2$ k-s-1; 0,05 aceita-se H_0 . Caso contrário rejeita-se H_0 e aceita-se H_1 . O grau de liberdade para o valor de χ^2 k-s-1; 0,05 = 1. Cabe mencionar que $s = 1$, porque a distribuição de Poisson tem somente um parâmetro que é a média. Para $\alpha = 0,05$, o valor crítico de qui-quadrado é 3.84. Como $\chi^2 = 1,82$, a hipótese nula (H_0) pode ser aceita, ou seja, a distribuição de Poisson pode ser usada para ajustar os dados em análise.

4.4 O Processo de Atendimento dos Lotes de Fardos de PET

Estações Separação, Inspeção, Moinho e Tanque de Separação

A Tabela 7 apresenta o tempo médio de atendimento individual e o número de atendentes das estações separação e inspeção:

Tabela 7 - Tempo Médio de Atendimento Individual e Número de Atendentes

Estação de Atendimento	Tempo Médio de Atendimento Individual	Número de Atendentes
Separação	260 minutos	24
Inspeção	110 minutos	08

As estações moinho e tanque de separação possuem apenas 1 máquina cada e o tempo médio de atendimento de cada máquina é igual a 10 minutos.

Pelo fato da empresa estudada não fornecer dados mais específicos com relação ao processo de atendimento dos lotes de fardos de PET no sistema produtivo de moagem, foi utilizada a Distribuição Normal por poder ser aplicada quando a variável é aleatória contínua e simétrica em relação à média. O desvio padrão considerado foi 10% da média - para que a variação seja pequena - de cada uma das estações de atendimento do moinho. Assim, pode-se citar como exemplo a estação moinho onde tem-se: Normal (μ ; σ) que corresponde a Normal (10 ; 1).

5. Resultados da Simulação

Para cada uma das estações de trabalho foram avaliadas as seguintes variáveis: tempo médio de espera na fila, tamanho médio da fila e taxa de ocupação dos recursos. Os resultados referentes ao sistema original encontram-se na Tabela 8:

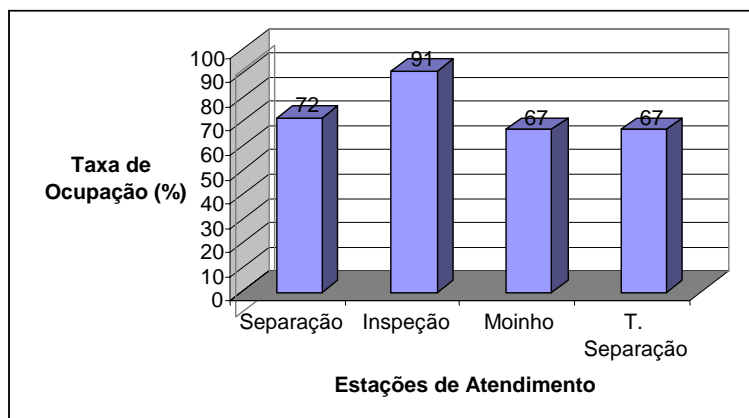
Tabela 8 – Resultado da Simulação - Cenário Real

	Tempo Médio na Fila (minutos)	Tamanho Médio da Fila	Taxa de Ocupação do Atendente
Separação	1,7523	0,11679	72%
Inspeção	48,457	3,2239	91%
Moinho	5,2913	0,35159	67%
Tanque de Separação	0,65408	0,04345	67%

Quantidade Produzida em 1 ano: 7.720 lotes de fardos de PET

A Tabela 8 mostra que, utilizando os recursos do sistema original, há a formação de fila em todas as estações de atendimento. Como pode ser observado, o tempo médio na fila para separação é de aproximadamente 1,8 minutos e o tamanho médio da fila é de aproximadamente 0,12 lotes. Na estação moinho o tempo médio de espera na fila é de 5 minutos para uma média de 0,35 lotes aguardando o atendimento. Já na estação tanque de separação, o tempo médio de espera na fila é de 0,65 minutos, sendo o tamanho médio da fila de 0,04 lotes. O tempo médio em fila mais crítico foi o da estação inspeção que corresponde a 48 minutos de espera com uma média de 3 lotes aguardando o atendimento. Através da análise de sensibilidade será verificada a possibilidade de redução do tempo médio em fila e, conseqüentemente, do tamanho médio da fila. A Figura 3 apresenta a taxa de ocupação das estações de atendimento do moinho, em termos percentuais:

Figura 3 – Taxa de Ocupação dos Recursos do Moinho de Embalagens de PET



5.1 Análise de Sensibilidade

Após rodar o programa ARENA com diferentes números de recursos, por exemplo, com o aumento do número de atendentes da estação separação ou inspeção, é possível estudar a sensibilidade do moinho de embalagens de PET objetivando mostrar como variações no sistema podem afetar diretamente as entidades e as atividades do moinho. Sua utilidade será conhecer o comportamento do sistema após algumas alterações nos recursos originais, e apoiar as decisões com relação à alocação de recursos no sistema produtivo. Deste modo, simular-se-á o comportamento do sistema de operações de acordo com:

- ✓ **Análise dos recursos humanos:** será representada por redução e aumento da quantidade de pessoal alocada nas estações correspondentes a estes recursos;

5.1.1 Análise da Disponibilidade do Recurso Separação

Um dos estudos de sensibilidade mais realizados em modelos que apresentam em seus sistemas recursos humanos é verificar a disponibilidade destes recursos. No caso do moinho das embalagens de PET, a presença das equipes de separação e inspeção é necessária para o funcionamento adequado do sistema produtivo. Deste modo, torna-se importante analisar o comportamento do sistema, mediante alterações da quantidade disponível destes recursos. Nesta análise será verificada, principalmente, a possibilidade de reduzir o tempo médio de espera na fila para atendimento da estação inspeção por apresentar o maior tempo médio entre as estações de atendimento do moinho. Os resultados da análise de sensibilidade efetuada reduzindo o número de atendentes da estação separação podem ser vistos na Tabela 9 e na Figura 4 que mostram o tempo médio em fila aguardando o atendimento nas estações separação e inspeção. Já na Tabela 10 e na Figura 5 podem ser vistos o tamanho médio das filas das estações separação e inspeção:

Tabela 9 - Tempo Médio de Espera na Fila nas Estações Separação e Inspeção ao Reduzir o Número de Atendentes na Estação Separação

24	23	22	21	20	19
1,7523	2,8144	6,2718	9,4106	13,252	31,271
48,457	48,419	46,592	40,213	23,327	18,3830

Figura 4 – Efeito da Redução do Número de Atendentes na Estação Separação

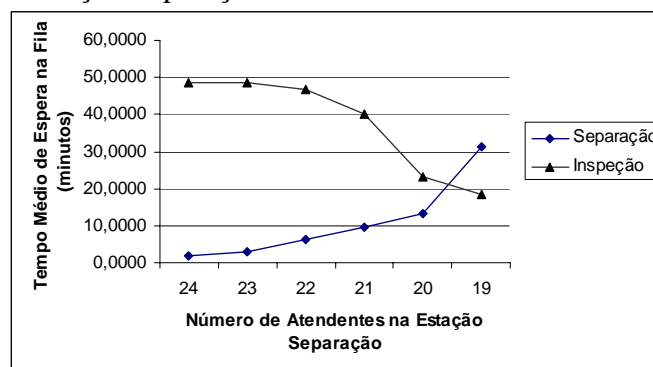
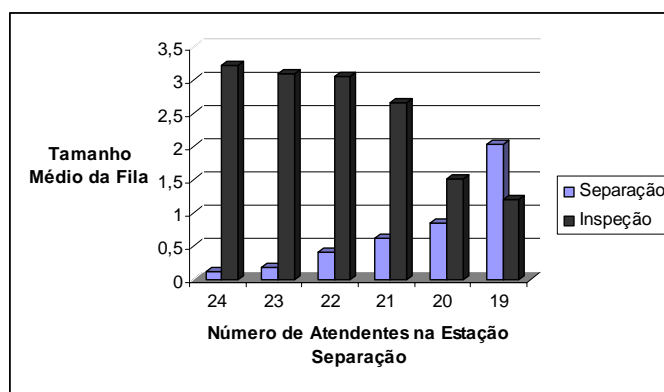


Tabela 10 - Tamanho Médio das Filas nas Estações Separação e Inspeção ao Reduzir o Número de Atendentes na Estação Separação

24	23	22	21	20	19
0,11679	0,18914	0,41594	0,62065	0,85522	2,03100
3,2239	3,0814	3,0547	2,6442	1,5012	1,1914

Figura 5 – Tamanho Médio das Filas nas Estações Separação e Inspeção ao Reduzir o Número de Atendentes na Estação Separação



Observa-se nas Tabelas 9 e 10 e nas Figuras 4 e 5 que à medida que se reduz o número de atendentes na estação separação, o tempo médio de espera na fila e o tamanho médio da fila desta estação aumentam, enquanto que na estação inspeção, a partir de 22 atendentes na estação separação o tempo médio de espera na fila e o tamanho médio da fila se reduzem.

Com 20 atendentes na estação separação, embora o tempo médio de espera para atendimento desta estação aumente de aproximadamente 1,8 minutos para 13 minutos o tempo médio de espera para atendimento na estação inspeção se reduz consideravelmente, ou seja, de 48 minutos para 23 minutos.

As Tabelas 11 e 12 apresentam o tempo médio de espera para atendimento e o tamanho médio da fila das estações moinho e tanque de separação, respectivamente, à medida que se reduz o número de atendentes na estação separação.

Tabela 11 - Tempo Médio de Espera para Moagem e Tamanho Médio da Fila de Acordo com o Número de Atendentes na Estação Separação

Número de Atendentes	Tempo Médio de Fila (minutos)	Tamanho Médio da Fila
24	5,2913	0,35159
23	5,3005	0,35534
22	4,9530	0,32750
21	5,1439	0,33788
20	5,2341	0,33627
19	5,1070	0,33076

Tabela 12 - Tempo Médio de Espera para Tanque de Separação e Tamanho Médio da Fila de Acordo com o Número de Atendentes na Estação Separação

Número de Atendentes	Tempo Médio de Fila (minutos)	Tamanho Médio da Fila
24	0,65408	0,04345
23	0,64769	0,04340
22	0,64373	0,04256
21	0,63957	0,04201
20	0,61176	0,03930
19	0,66151	0,04283

As Tabelas 11 e 12 mostram que com a redução do número de atendentes na estação separação, o tempo médio da fila nas estações moinho e tanque de separação apresentam pequena variação

As Tabelas 13 e 14 e as Figuras 6 e 7 a seguir, apresentam, respectivamente, o tempo médio em fila aguardando o atendimento e o tamanho médio da fila das estações separação e inspeção, à medida que o número de atendentes da estação separação aumenta:

Tabela 13 - Tempo Médio de Espera na Fila nas Estações Separação e Inspeção ao Aumentar o Número de Atendentes na Estação Separação

24	25	26	27	28	29
1,7523	1,5211	0,6597	0,3829	0,2208	0,0629
48,457	51,039	51,604	66,293	73,021	58,097

Figura 6 – Efeito do Aumento do Número de Atendentes na Estação Separação

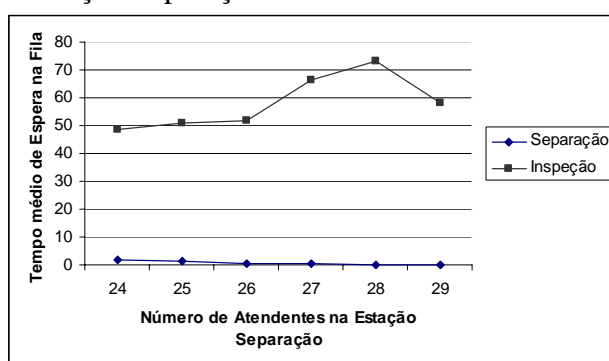
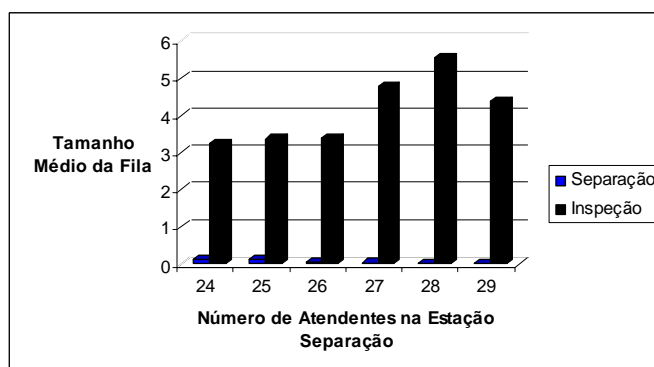


Tabela 14 - Tamanho Médio das Filas nas Estações Separação e Inspeção ao Aumentar o Número de Atendentes na Estação Separação

24	25	26	27	28	29
0,11803	0,10209	0,04357	0,02525	0,01468	0,00412
3,2239	3,3680	3,3925	4,7814	5,5638	4,3935

Figura 7 – Tamanho Médio das Filas nas Estações Separação e Inspeção ao Aumentar o Número de Atendentes na Estação Separação



Como se pode observar nas Tabelas 13 e 14 e nas Figuras 6 e 7, à medida que se aumenta o número de atendentes na estação separação, o tempo médio de espera na fila e o tamanho médio da fila nesta estação diminuem, porém na estação inspeção a tendência é de aumento do tempo médio de fila e do tamanho médio da fila. Isto ocorre porque o processo de atendimento na estação separação se torna mais ágil a medida que se aumenta o número de atendentes, gerando a formação de fila de espera para o atendimento na próxima estação de trabalho, que no caso é a inspeção. Deste modo, não é interessante para o processo produtivo, da empresa estudada, o aumento do número de atendentes na estação separação.

5.1.2 Análise da Disponibilidade do Recurso Inspeção

As Tabelas 15 e 16 e as Figuras 8 e 9 apresentam, respectivamente, o tempo médio em fila e o tamanho médio da fila na estação inspeção, à medida que o número de atendentes nesta estação aumenta:

Tabela 15 - Tempo Médio de Espera na Fila na Estação Inspeção ao Aumentar o Número de Atendentes

8	9	10	11	12	13
48,457	15,435	4,5719	1,6135	0,57102	0,26425

Figura 8 – Efeito do Aumento do Número de Atendentes na Estação Inspeção

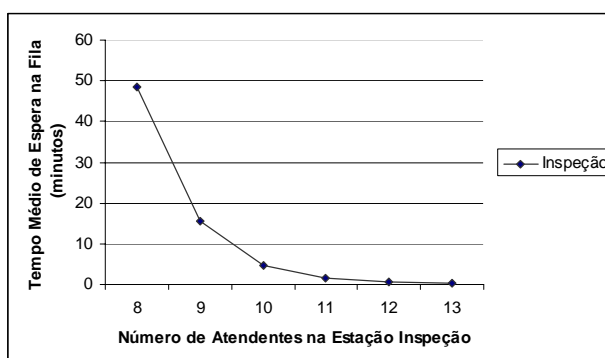


Tabela 16 - Tamanho Médio da Fila na Estação Inspeção ao Aumentar o Número de Atendentes

8	9	10	11	12	13
3,2239	1,0231	0,37710	0,30142	0,10793	0,01750

Figura 9 – Tamanho Médio da Fila da Estação Inspeção ao Aumentar o Número de Atendentes



As Tabelas 15 e 16 e as Figuras 8 e 9 mostram que com o aumento do número de atendentes na estação inspeção há uma diminuição no tempo médio de espera em fila e no tamanho médio da fila desta estação de atendimento. Cabe mencionar que a estação inspeção trabalhando com 8 pessoas está no limite da capacidade de atendimento, porque cada lote de fardos de PET chega ao processo produtivo numa média de 15 minutos, e cada pessoa da estação inspeção leva em média 110 minutos para atender um lote, ou seja, o tempo médio da estação é de 13,75 minutos ($110 \div 8$). Assim, ao se reduzir, por exemplo, para 7 atendentes na estação inspeção, o tempo médio de atendimento desta estação passará a ser de 15,71 minutos (maior que 15 minutos que é o tempo médio da chegada de cada lote de fardos de PET), gerando um enorme gargalo que levará à saturação do sistema produtivo.

As Tabelas 17 e 18 apresentam o comportamento das estações de atendimento moinho e tanque de separação, respectivamente, à medida que se aumenta o número de atendentes na estação inspeção.

Tabela 17 - Tempo de Espera para Moagem e Tamanho Médio da Fila de Acordo com o Número de Atendentes na Estação Inspeção

Número de Atendentes	Tempo Médio de Fila (minutos)	Tamanho Médio da Fila
8	5,2913	0,35159
9	6,1939	0,41019
10	6,6270	0,43649
11	7,3844	0,49371
12	7,8592	0,51829
13	8,3290	0,55149

Tabela 18 - Tempo de Espera para Tanque de Separação e Tamanho Médio da Fila de Acordo com o Número de Atendentes na Estação Inspeção

Número de Atendentes	Tempo Médio de Fila (minutos)	Tamanho Médio da Fila
8	0,65408	0,04345
9	0,74634	0,04942
10	0,92623	0,06098
11	1,04140	0,06962
12	1,06891	0,07049
13	1,11010	0,07347

As Tabelas 17 e 18 mostram que com o aumento do número de atendentes na estação inspeção, o tempo médio em fila e o tamanho médio da fila das estações moinho e tanque de separação têm um aumento muito pequeno. Isto ocorre porque o processo de atendimento da estação inspeção se torna mais ágil gerando uma pequena fila nas estações seguintes – moinho e tanque de separação. Embora haja um aumento nos tempos médios de atendimento destas estações, não se tornam críticos para o sistema produtivo.

6. Sugestões para Melhoria do Sistema

A partir da realização das análises de sensibilidade do modelo, com relação ao efeito da variação dos recursos humanos, foi possível apresentar proposta de melhoria do sistema produtivo da empresa estudada. A Tabela 21 ilustra as configuração real de recursos e a proposta:

Tabela 20 - Configuração Real e a Proposta dos Recursos

Recursos	Configuração Real	Configuração Proposta
Separação	24	20
Inspeção	08	12
Moinho	01	01
Tanque de Separação	01	01

Como já mencionado, a preocupação da empresa em análise - com relação a seu sistema produtivo - estava relacionada com a dimensão mais adequada dos recursos humanos de produção. Deste modo, a Tabela 20 apresenta a proposta para a empresa analisar a possibilidade de sua implantação. A configuração proposta consiste em alocar 20 pessoas na

estação separação e 12 pessoas na estação inspeção. Como o número de atendentes da estação inspeção será reduzido de 24 para 20 pessoas, será possível transferir desta estação para a inspeção 4 atendentes, não sendo necessária a contratação de novos empregados.

7. Conclusões

A quantidade de embalagens de PET recicladas no Brasil é inferior à consumida. Conforme demonstra a Tabela 1. Estes números podem crescer se o conhecimento por parte dos empresários sobre o estabelecimento de empresas neste setor for difundido.

Deste modo, este estudo de caso teve como intuito apresentar o processo de reciclagem, a aplicação do PET reciclado e, principalmente, quais são as estações de trabalho que constituem um moinho de PET, além de demonstrar que, por meio da Simulação, é possível dimensionar a quantidade adequada de recursos a serem aplicados no sistema, facilitando, por exemplo, a tomada de decisões quanto à necessidade de investimentos relacionados a estes recursos.

O programa ARENA verificou a formação de filas no processo produtivo, atual da empresa estudada, do floco de PET e, por meio da análise de sensibilidade, foi possível tentar melhor balancear os recursos disponíveis no sistema. Assim, ao iniciar as atividades neste setor, torna-se interessante desenvolver um estudo, que pode ser por meio da Simulação no ARENA, para verificar a necessidade de recursos de acordo com a capacidade de produção almejada.

8. Referências Bibliográficas

- ABIPET - Associação Brasileira dos Fabricantes de Embalagens de PET (Online). Disponível na internet em: <http://www.abipet.org.br>. Acesso em: junho (2006).
- BLOEMHOF-RUWAARD, J.M., BEEK, P.V., HORDIJK, L., et al., 1995, "Interactions between Operational Research and Environmental Management", *European Journal of Operational Research*, v. 85, pp. 229-243.
- CLM – Council of Logistics Management, 1993, *Reuse and Recycling Reverse Logistics Opportunities*. Illinois, Council of Logistics Management.
- FULLER, D. A., ALLEN, J., 1995, *Reverse Channel Systems*, Nova Iorque, Haworth Press.
- PRADO, D., 1999, "Usando o Arena em Simulação", *Desenvolvimento Gerencial*, v. 3, pp. 41-58.
- SPIEGEL, M.R., 1972, *Estatística*, São Paulo, MacGraw-Hill do Brasil.