



ISSN: 2447-5580

Disponível em: <http://periodicos.ufes.br/BJPE/index>



ARTIGO ORIGINAL

OPEN ACCESS

SIMULAÇÃO DO DESEMPENHO LOGÍSTICO REVERSO NA INDÚSTRIA FARMACÊUTICA EM SITUAÇÕES DE SURTO DE DOENÇAS INFECCIOSAS: UMA ABORDAGEM BASEADA NO MODELO SIR

SIMULATION OF REVERSE LOGISTIC PERFORMANCE IN THE PHARMACEUTICAL INDUSTRY IN OUTBREAK SITUATIONS OF INFECTIOUS DISEASES: AN APPROACH BASED ON SIR MODEL

Wesley Douglas Oliveira Silva^{1*}; Carlos Heitor de Oliveira Barros²

¹Departamento de Engenharia de Produção da Universidade Federal de Pernambuco, Av. da Arquitetura, s/n, Cidade Universitária, CEP 50740-550, Recife. *wesleydosilva@gmail.com

²Centro Acadêmico do Agreste, Universidade Federal de Pernambuco, Rodovia BR 104 - KM 59 - Sítio Juriti, - CEP 55002-970, Caruaru. cheitor41@hotmail.com

ARTIGO INFO.

Recebido em: 05.08.2019

Aprovado em: 12.08.2019

Disponibilizado em: 20.09.2019

PALAVRAS-CHAVE:

Logística Reversa; Avaliação de Desempenho; Indústria Farmacêutica; Modelo SIR.

KEYWORDS:

Reverse Logistics; Performance Evaluation; Pharmaceutical Industry; SIR Model.

*Autor Correspondente: Silva, W.D.O.

RESUMO

Devido ao surto de sarampo no Brasil em 2019 estratégias são requeridas para reagir rapidamente e conseguir imunizar a maior parte da população evitando o contágio e interrompendo o ciclo de transmissão da doença. Uma estratégia relevante é a logística reversa (LR), que pode auxiliar as empresas farmacêuticas a reemitirem rapidamente para determinadas localidades fármacos que estejam em quantidades excedentes em outras regiões. Desta forma, o presente estudo teve como objetivo avaliar o impacto do desempenho da LR em cadeias da indústria farmacêutica com quantidades suficientes de fármacos para atender a outras regiões em situações de demanda sobressalente como em casos de surtos de sarampo, nos quais vacinas são utilizadas como principal forma de prevenção desta doença na população. Para tanto, um algoritmo para simulação foi proposto com base no modelo suscetível, infectado e recuperado (SIR) que projeta a proliferação da doença no tempo. As taxas de contágio, número de infectados e recuperados ou

imunes foram utilizados como medidas indiretas do desempenho da LR para a situação proposta. Os resultados da simulação mostraram que a LR pode ser uma estratégia eficaz para auxiliar na imunização do sarampo, limpando a cadeia rapidamente dos fármacos e reemitindo-os, evitando, assim, que eles passem da data de validade e sejam dispostos irresponsavelmente no meio ambiente.

ABSTRACT

Due to the measles outbreak in Brazil in 2019 strategies are required to react quickly and be able to immunize most of the population by preventing contagion and disrupting the disease transmission cycle. A relevant strategy is reverse logistics (RL), which can help pharmaceutical companies quickly re-issue drugs in excess quantities in other regions. Thus, the present study aimed to evaluate the impact of RL performance on pharmaceutical industry chains with sufficient quantities of drugs to meet other regions in spare demand situations such as measles outbreaks, where vaccines are used as main form of prevention of this disease in the population. Therefore, an algorithm for simulation was proposed based on the susceptible, infected and recovered (SIR) model, which projects the proliferation of the disease over time. Contagion rates, number of infected and recovered or immune were used as indirect measures of RL performance for the proposed situation. Simulation results have shown that RL can be an effective strategy to assist in measles immunization by rapidly clearing the chain of drugs and re-issuing them, thus preventing them from expiring and being irresponsibly disposed of in the environment.



1. INTRODUÇÃO

Oteng-Ababio, et al. (2013) afirmam que autoridades em todo o mundo estão buscando formas para que se explorem possibilidades de reduzir a geração de resíduos, fazendo com que o enorme fardo ao qual o meio ambiente tem sido exposto seja reduzido e, desta forma, o material advindo dos resíduos seja recuperado e traga benefícios de cunho econômico, ambiental e, também, social. Neste sentido, a logística reversa (LR) tem sido discutida como uma alternativa plausível para lidar com resíduos por possibilitar atendimento aos requisitos em torno destes benefícios (De Brito, et al., 2005).

Qualquer tipo de resíduo, quando liberado irresponsavelmente na natureza pode desencadear algum tipo de impacto negativo para o meio ambiente, seja em maior ou em menor grau. Isso faz com que cada vez mais se limite a capacidade do meio ambiente de se recuperar, e, conseqüentemente, pode culminar em problemas muito maiores para a sociedade, chegando até a impactar na qualidade de vida das próximas gerações (Mahmoudi; Fazlollahabbar, 2014; Kinobe, et al., 2015).

Esse impacto tem sido amplamente relatado nas últimas duas décadas para produtos farmacêuticos (Amaro; Barbosa-Póvoa, 2008; Xie; Breen, 2012). Como forma de evitar tal impacto, muitas indústrias optam por retornar esses produtos através de canais reversos, sendo os principais produtos retornados aqueles fármacos que estão fora da data de validade, aqueles cujo *recall* é necessário devido a alguma característica inconsistente com padrões pré-determinados e os fármacos que foram adquiridos de forma errada. Contudo, pouca atenção tem sido dada aos fármacos vencidos, o que faz desta uma área potencial para pesquisas (Pereira, et al, 2017).

Ademais, o uso ou descarte indevido de fármacos vencidos apresentam risco potencial elevado, logo, é imprescindível que as empresas farmacêuticas concebam a LR e suas operações para que não apenas reajam aos problemas causados e limpem a cadeia de material não conforme, mas também a repensem para que seja reativa, de modo que o suprimento sobressalente de outras cadeias seja remetido antes de passar da data de validade para atender aqueles que estão esperando por medicamentos (Kumar, et al., 2014).

Neste contexto, outro fator importante de ser considerado é que a logística reversa para empresas farmacêuticas parece ser um grande negócio. Estimativas do setor de gestão de retornos de produtos farmacêuticos avaliam que o mesmo está orçado entre US\$ 2,5 bilhões e US\$5 bilhões de dólares em produtos que estão vencidos, que devem passar por *recall*, que estejam danificados, ou que foram entregues incorretamente (TEUNTER et al., 2003; HUNTER et al., 2005).

No tocante à literatura acerca da logística reversa na indústria farmacêutica, algumas publicações podem ser verificadas. Kumar, et al. (2009) realizaram um estudo para analisar a cadeia de suprimentos farmacêutica utilizando o processo DMAIC para melhoria da logística reversa em um *recall* evitando a possibilidade de danos ao consumidor.

Bravo & Carvalho (2013) realizaram um estudo para verificar e explorar as relações entre a indústria farmacêutica, logística reversa e sustentabilidade.



Citação (APA): Silva, W.D.O. & Barros, C.H. de. O. (2019). Simulação do desempenho logístico reverso na indústria farmacêutica em situações de surto de doenças infecciosas: uma abordagem baseada no modelo sir. *Brazilian Journal of Production Engineering*, 5(4), 53-65.

Por fim, Campos, et al. (2017) objetivaram em seu artigo desenvolver uma revisão sistemática da literatura com o intuito de identificar conceitos e práticas de logística reversa aplicadas ao fim da vida e ao fim do uso de produtos farmacêuticos, sintetizados por meio de indicadores bibliométricos e oportunidades de pesquisa em LR considerando a análise das publicações. Todavia, estes estudos não avançaram em avaliar os impactos da logística reversa para gestão de resíduos farmacêuticos em quantidades sobressalentes e que podem vencer devido à armazenagem por longos períodos, o que ratifica a necessidade de estudos nesse âmbito.

Narayana, et al. (2014) afirmam que embora exista um interesse considerável nas implicações ambientais e preocupações de minimização de resíduos da indústria farmacêutica, as pesquisas de LR nessa indústria são limitadas em comparação com outras indústrias, como a de eletroeletrônicos, por exemplo. Xie & Breen (2014) acrescentam que isso se deve ao fato de a implementação de operações reversas de medicamentos ser desafiadora, por diversas questões culturais e de mudança de paradigmas.

Desta forma, o presente estudo tem como objetivo avaliar o impacto do desempenho da LR em cadeias da indústria farmacêutica com quantidades suficientes de fármacos para atender a outras regiões em situações de demanda sobressalente como em casos de surtos de sarampo, nos quais vacinas são utilizadas como principal forma de prevenção desta doença na população.

Para atender a esse objetivo, este artigo se diferencia dos demais por propor um algoritmo para simular o impacto do desempenho da LR baseado no modelo Suscetível, infectado e recuperado (SIR) que divide o conjunto de pessoas estudado em três classes: os suscetíveis, os infectados e os recuperados ou imunes. Além disso, também são levadas em consideração mais duas variáveis, as taxas de contato e recuperação que variam com o tempo, sendo adequadas, portanto, para o estudo da proliferação de doenças (Slama, et al., 2019).

Eventos recentes reiteram ainda mais a importância do estudo da LR para a indústria farmacêutica. De acordo com o Ministério da Saúde (2019) 426 casos de sarampo foram identificados em sete estados do Brasil (São Paulo, Rio de Janeiro, Pará, Minas Gerais, Santa Catarina, Roraima e Amazonas), sendo a maioria dos casos da doença (82,16%) foram identificadas no estado de São Paulo. Além dos casos confirmados, outros 810 estão sob investigação.

Não obstante, esse artigo está estruturado em seções. A seção 1 tem caráter introdutório. A seção 2 apresenta os principais conceitos sobre o qual este estudo foi baseado. A seção 3 apresenta a metodologia da pesquisa. A seção 4 apresenta resultados e discussões. Por fim, na seção 4 são feitas algumas considerações finais acerca deste estudo.



Citação (APA): Silva, W.D.O. & Barros, C.H. de. O. (2019). Simulação do desempenho logístico reverso na indústria farmacêutica em situações de surto de doenças infecciosas: uma abordagem baseada no modelo sir. *Brazilian Journal of Production Engineering*, 5(4), 53-65.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 LOGÍSTICA REVERSA

A logística reversa é definida por Hu, et al. (2002) como o processo de gestão logística envolvida em planejar, gerir e controlar o fluxo reverso de bens tanto para reuso quanto para a disposição final.

Guide & Van Wassenhove (2002) discutiram algumas características importantes da LR que a diferem do fluxo direto tradicional da logística, sendo as principais relacionadas às incertezas temporais, de qualidade e quantidade dos produtos que serão retornados; a necessidade de equilíbrio das quantidades retornadas e de uma rede logística bem estabelecida e planejada para melhorar a coordenação entre o retorno e o atendimento à demanda.

Os estudos sobre LR apresentam algumas operações sobre as quais ela esta estruturada. Esses estudos convergem sobre: a aquisição que é o ponto de partida para o estabelecimento do fluxo reverso, o manuseio que trata, principalmente, sobre a armazenagem e movimentação interna de produtos, a coleta que se refere à atividade na qual a organização ganha a posse sobre o produto a ser retornado, a inspeção e triagem que servem para identificação e separação dos produtos que terão procedimentos adicionais no canal e a disposição final dos produtos que conta com alternativas como a reciclagem, reuso, remanufatura, reparo e/ou descarte (Fleischmann, et al., 2000; He, et al., 2006; Nuss, et al., 2015; Agrawal, et al., 2015).

Para que a LR possa ser implementada, os gestores da comunidade empresarial avaliam, dentre os outros fatores, as barreiras e motivações. Tanto para barreiras quanto para motivações leva-se em consideração:

- Fatores econômicos: como custo e lucro associados ao sistema de LR (Millet, 2011; Sharma, et al., 2011);
- Fatores sociais e de informação: como imagem valorada da empresa junto aos consumidores e questões de conscientização das empresas sobre a importância da LR (Schultmann; Sunke, 2007; Govidan, et al., 2014);
- Fatores ambientais: como a diminuição dos impactos ambientais e a restrição dos processos da organização (Denhart, 2010; Krikke, et al., 2013);
- Fatores tecnológicos e infraestruturais: como a tecnologia e habilidades necessárias a gestão da LR (Yusuf & Raouf, 2013; Bouzon, et al., 2016)

Desta forma a LR, pode auxiliar as organizações a recuperar valor econômico e ambiental de seus produtos (Prahinski; Kocabasoglu, 2006). Pelas características, barreiras e motivações citadas, muitas vezes, opta-se por simular determinadas característica LR para que se possa implementá-la.

Keyvanshokoh, et al. (2013) propõem um modelo de programação dinâmica para precificação e aquisição de produtos utilizados com base na porcentagem de produtos devolvidos recolhidos na zona de consumidores.



Citação (APA): Silva, W.D.O. & Barros, C.H. de. O. (2019). Simulação do desempenho logístico reverso na indústria farmacêutica em situações de surto de doenças infecciosas: uma abordagem baseada no modelo sir. *Brazilian Journal of Production Engineering*, 5(4), 53-65.

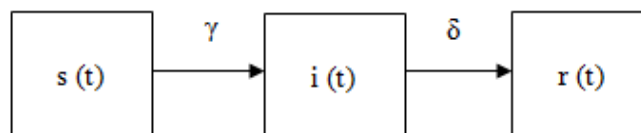
Yoon & Jeong (2017) propõem um modelo para analisar efeitos da implementação da inovação aberta sobre estratégias para coordenar as partes interessadas em uma cadeia logística reversa.

Por fim, Qiu, et al. (2018) propõem um modelo integrado de produção e roteirização para logística reversa com foco na remanufatura de produtos. Contudo, estudos que simulem e avaliem o desempenho da LR em indústrias farmacêuticas parece não terem sido extensivamente discutidos.

2.2 MODELO SIR

No modelo Suscetível, infectado e recuperado (SIR), a dinâmica dos indivíduos é direcionada do conjunto suscetível “s”, para o conjunto infectado “i” e para o conjunto recuperado, conforme explicitado na Fig. 1.

Figura 1 – Diagrama de fluxo do modelo SIR



Fonte: Adaptado de Slama et al., 2019.

O número de indivíduos em cada uma dessas classes muda com o tempo, isto é, $s(t)$, $i(t)$ e $r(t)$ são funções do tempo, “t”. Se for assumido que o tamanho total da população, “N”, é fixo durante a epidemia (ou seja, as taxas de nascimento e morte são zero), então (Slama et al., 2019):

$$s(t) + i(t) + r(t) = N, \forall t \geq 0. (1)$$

Isso significa que a soma dos tamanhos desses três grupos é fixada a qualquer momento. É mais comum e razoável lidar com a porcentagem ou a proporção de suscetíveis, infectados e recuperados, ao invés de seus números de pessoas. Por isso, a Eq. 1 pode ser dividida por N para obter as variáveis em porcentagem, então, como mostra a Eq. 2, temos:

$$S(t) + I(t) + R(t) = 1, \forall t \geq 0. (2)$$

Portanto, $S(t)$, $I(t)$ e $R(t)$ são as porcentagens de suscetível, infectado e recuperação em qualquer instante t, respectivamente.

Matematicamente, os modelos SIR normalizados são considerados como um problema de valor inicial (IVP) de um sistema de equações diferenciais não lineares (EDNL) que assumem a forma das Eq. 3, Eq.4 e Eq.5 (Martcheva, 2015):

$$S(t) = -\gamma I(t) S(t), t \geq 0 (3)$$

$$I(t) = \gamma I(t) S(t) - \delta I(t), t \geq 0 (4)$$

$$R(t) = \delta I(t), t \geq 0 (5)$$



Citação (APA): Silva, W.D.O. & Barros, C.H. de. O. (2019). Simulação do desempenho logístico reverso na indústria farmacêutica em situações de surto de doenças infecciosas: uma abordagem baseada no modelo sir. *Brazilian Journal of Production Engineering*, 5(4), 53-65.

E em condições iniciais como nas Eq. 6 e Eq. 7:

$$S(0) = S_0, I(0) = I_0(6)$$

$$R(0) = 0 \text{ e } S_0 + I_0 = 1.(7)$$

Os coeficientes γ e δ são o contato e as taxas de recuperação, respectivamente. A taxa de contato, γ , é o número médio de contatos adequados (ou seja, contatos suficientes para transmissão de infecção) do indivíduo infectado por unidade de tempo, enquanto $1/\delta$ é fisicamente a duração da infecção. Resolvendo as três equações anteriores (Eq. 3, Eq.4 e Eq.5), representando o modelo epidemiológico SIR com suas condições iniciais dadas nas Eq. 6 e Eq. 7, obtemos a seguinte solução aproximada das Eq. 8, Eq. 9 e Eq. 10:

$$S(t) = S_0 \frac{(\gamma e (\gamma - \delta)t - \delta)}{\gamma - \delta}, t \geq 0, (8)$$

$$I(t) = 1 - S_0 \frac{(\gamma e (\gamma - \delta)t - \delta)}{\gamma - \delta} + \frac{\delta}{\gamma} \left(-\ln S_0 + \ln S_0 \frac{(\gamma e (\gamma - \delta)t - \delta)}{\gamma - \delta} \right), t \geq 0, (9)$$

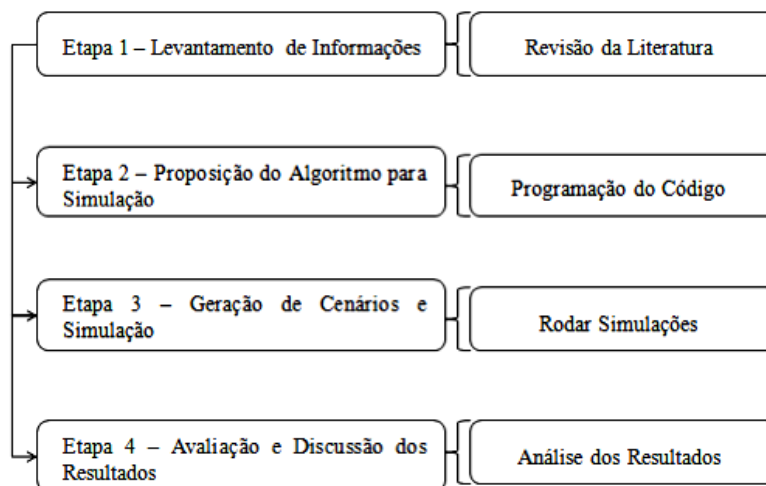
$$R(t) = \delta \left(\frac{1 - e^{(\gamma - \delta)t}}{\gamma - \delta} \right) \ln(S_0), t \geq 0(10)$$

Essas últimas equações(Eq. 8, Eq. 9 e Eq. 10) representam uma solução determinística aproximada do sistema de EDNLs, derivado sob a condição $|\ln(S)| < 1$. Como $0 < S < 1$, porque o modelo foi previamente normalizado, esta condição significa que a análise é válida no intervalo de dados, $1/e < S < 1$, para a subpopulação de suscetíveis.

3. METODOLOGIA DA PESQUISA

O presente estudo foi conduzido em quatro etapas, como pode ser verificado na Fig.2

Figura 2 – Metodologia da pesquisa



Fonte – Os Autores, 2019.



Citação (APA): Silva, W.D.O. & Barros, C.H. de. O. (2019). Simulação do desempenho logístico reverso na indústria farmacêutica em situações de surto de doenças infecciosas: uma abordagem baseada no modelo sir. *Brazilian Journal of Production Engineering*, 5(4), 53-65.

- Etapa 1 – Levantamento de informações: esta etapa diz respeito ao levantamento de informações relevantes sobre a logística reversa, o modelo SIR e os demais conceitos utilizados no presente estudo;
- Etapa 2 – Proposição do Algoritmo para Simulação: por conseguinte, baseando-se nas informações levantadas, o algoritmo para simulação da avaliação de desempenho da logística reversa, parâmetros definição do *software* a ser utilizado para implementação do algoritmo são definidos;
- Etapa 3 – Geração de Cenários e Simulação: em seqüência, são gerados cenários para simulação de diferentes características que contemplem uma análise antes e depois do desempenho da aplicação da logística reversa; e
- Etapa 4 – Avaliação e Discussão dos Resultados: nesta etapa, são avaliados os impactos e tiram-se conclusões acerca da simulação conduzida.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O contexto sobre o qual este estudo se desenvolve compreende determinadas características. Inicialmente, considera-se uma situação de surto de doenças infecciosas como o sarampo, por exemplo. Por conseguinte, destaca-se como suposição básica que a utilização do modelo SIR em um indivíduo pode passar sequencialmente por estágios de suscetibilidade, infecção e recuperação.

Outra suposição é de que a imunidade do indivíduo é permanente, ou seja, uma vez vacinado o indivíduo permanece imune contra esse tipo de doença por todo o seu ciclo de vida. Considera-se, também, que na melhor das hipóteses os indivíduos infectados conseguem se recuperar ao final de um período considerado.

Em relação à logística reversa, deve-se considerar que, por questões de planejamento equivocado, muitas regiões acabam recebendo uma quantidade de vacinas muito maior do que aquela necessária para atender a população em sua localidade.

Assim, a quantidade excedente pode ser reinserida antes de passar da data de validade ao canal para atender a outras regiões que receberam quantidades aquém do devido para a população, ou até para atender a regiões que estejam em situação de surto da doença. Logo, deseja-se imunizar tantas quantas pessoas possíveis, para que estas não sejam infectadas com as doenças e, conseqüentemente, interrompam o ciclo de transmissão.

A partir deste ponto, um algoritmo foi proposto para simular o desempenho antes e depois da implementação da logística reversa para reinserção de vacinas ao canal de suprimentos com o intuito de atender as populações em situações de surto de doenças infecciosas.

Na Fig.3 é apresentado o código que foi desenvolvido, foi proposto com base no modelo SIR que verifica o comportamento dessas doenças. O código foi programado em ambiente MATLAB versão trial/2019.



Citação (APA): Silva, W.D.O. & Barros, C.H. de. O. (2019). Simulação do desempenho logístico reverso na indústria farmacêutica em situações de surto de doenças infecciosas: uma abordagem baseada no modelo sir. *Brazilian Journal of Production Engineering*, 5(4), 53-65.

Figura 3 – Código desenvolvido

PROGRAMA PRINCIPAL: MODELO SIR

```
clc; %limpa a tela do windows
clearall; %limpa todas as variáveis e o arquivo
fid=fopen('saida_modelo_sir.m','w'); % cria o arquivo que vai receber a os valores do modelo
dt=0.01; % intervalo da variação do tempo
arquivo=fopen('dados1.m'); %abrindo o arquivo
f=fscanf(arquivo,'%s%f\n'); %lendo apenas a parte numérica do arquivo aberto
fclose(arquivo); %fechando arquivo
N1=f(1)+f(2)+f(3); %calculando a população total do caso inicial
f1=f(1)/N1;f2=f(2)/N1;f3=f(3)/N1;f4=f(4);f5=f(5);f6=f(6); %armazenando cada valor do vetor f em uma
variável
%onde f1(probabilidade do número de indivíduos suscetíveis),f2(probabilidade do número de indivíduos
infectados)
%f3(probabilidade do número de indivíduos recuperados), f4(parâmetro beta para o caso inicial)
%f5(parâmetro gama para o caso inicial),f6(intervalo de tempo analisa do para este caso)
[y1,y2,y3,h]=sir(f1,f2,f3,f4,f5,f6,dt); %enviando os valores de f (caso inicial) para função que calcula
pelo modelo sir
tamanho=length(y1); %armazenando o tamanho do vetor para acessar a última posição
cenario=fopen('cenario1.m'); %abrindo o arquivo
c=fscanf(arquivo,'%s%f\n'); %lendo apenas a parte numérica do arquivo aberto
fclose(cenario); %fechando arquivo
N2=N1+c(1)+c(2)+c(3); %calculando a população total com a introdução do novo cenário
c1=(c(1)+(y1(tamanho)*N1))/N2;c2=(c(2)+(y2(tamanho)*N1))/N2;c3=(c(3)+(y3(tamanho)*N1))/N2;c
4=c(4);c5=c(5);c6=c(6); %armazenando cada valor do vetor c em uma variável onde c1(número de
indivíduos suscetíveis adicionados ao estudo de caso mais o último valor calculado no caso inicial)
%f2(número de indivíduos infectados adicionados ao estudo de caso mais o último valor calculado do no
caso inicial)
%f3(número de indivíduos recuperados adicionados ao estudo de caso mais o último valor calculado no
caso inicial)
%f4(parâmetro beta para novo cenário), f5(parâmetro gama para novo cenário),f6(intervalo de tempo
analisa do para este cenário)
%OBS.: o N1 está multiplicando o último valor dos vetores, pois este último estava em probabilidade de
[y1c,y2c,y3c,h1]=sir(c1,c2,c3,c4,c5,c6,dt);
%enviando os valores de c (com novo cenário) para função que calcula pelo modelo sir
tamanho=length(y1c); %armazenando o tamanho do vetor
h1=h1+f6;
%pois novo cenário irá ser plotado logo após o caso inicial que tem duração de f(6) dias, logo soma-se
cada casa do vetor tempo de h1 com o último tempo do caso inicial

%PLOTANDO O GRÁFICO DO MODELO SIR

figure; % abre uma nova janela de gráfico
plot(h,y1,'b',h,y2,'g',h,y3,'r',h1,y1c,'b',h1,y2c,'g',h1,y3c,'r'); % plota as curvas do caso inicial e do novo
cenário
title('Relação entre Suscetíveis, Infectados e Recuperados'); % dando um título ao gráfico
legend('S', 'I', 'R'); % adiciona uma legenda para identificar as curvas
xlabel('Tempo (dias)); ylabel('Numero de Indivíduos (em porcentagem)); % nomeando os eixos do
gráfico

%GERANDO SAÍDA EM ARQUIVO COM DADOS DO MODELO SIR

% imprime no arquivo a mensagem
fprintf(fid,'Estimativa de Indivíduos (CASO INICIAL));
escreve(tamanho,dt,h,y1,y2,y3,N1,fid); % chama função que imprime valores na saída
% imprime no arquivo a mensagem
fprintf(fid,'Estimativa de Indivíduos (NOVO CENÁRIO));
escreve(tamanho,dt,h1,y1c,y2c,y3c,N2,fid); % chama função que imprime valores na saída
```



Citação (APA): Silva, W.D.O. & Barros, C.H. de O. (2019). Simulação do desempenho logístico reverso na indústria farmacêutica em situações de surto de doenças infecciosas: uma abordagem baseada no modelo sir. *Brazilian Journal of Production Engineering*, 5(4), 53-65.

FUNÇÃO SIR

```
function [x1,x2,x3,t]=sir(r1,r2,r3,beta,gama,tempomax,tt)
%função que recebe 7 parâmetros de entrada e gera a saída de 4 parâmetros
S(1)=r1 ;I(1)=r2 ;R(1)=r3 ; % inicializando os vetores S, I e R
delta T=tt; % valor da variação do tempo
k(1)=0; % vetor que armazena o tempo
tempo=0.0; % inicializando a contagem do tempo
i=1; % inicializando contador
while tempo<=tempomax% laço que só se encerra quando o tempo inicializado for maior que o tempo em
que se quer analisar o modelo
tempo = tempo+delta T; % tempo adicionado da variação do tempo
S(i+1)= -beta*S(i)*I(i)*delta T + S(i); % equação dos indivíduos suscetíveis
I(i+1)= beta*S(i)*I(i)*delta T - gama*I(i)*delta T + I(i); % equação dos indivíduos infectados
R(i+1)= R(i) + gama*I(i)*delta T; % equação dos indivíduos recuperados
k(i+1)=tempo; % salvando o tempo para o qual foram calculadas as equações
i = i+1; % contador sendo incrementado
end
x1=S;x2=I;x3=R;t=k; % salvando os valores a serem repassados pelos parâmetros de saída
end
```

FUNÇÃO QUE ESCRIVE A SAÍDA NO ARQUIVO

```
function escreve(tamanho,dtaux,haux,y1aux,y2aux,y3aux,Naux,fidaux)
fprintf(fidaux,'\n');
fprintf(fidaux,'Tempo(em dias) Suscetiveis Infectados Recuperados');

divisaotempo=30/dtaux; % a saída é gera da para o tempo de 30 em 30 dias
%então para acessar a posição do vetor que contém essa variação de mês a
%mês divide-se 30 por dt para saber quantos dt's há em 30 dias e assim
%acessar a posição corretamente
u=1; % inicializando contador
while u<=tamanho % laço que será desfeito caso u ultrapasse a última posição dos vetores
fprintf(fidaux,'\n%.6f %.6f %.6f
%.6f,haux(u),y1aux(u)*Naux,y2aux(u)*Naux,y3aux(u)*Naux);
% imprime os valores de SIR do momento inicial da introdução do caso
% inicial e depois de mês a mês
u=u+divisaotempo; % contador sendo incrementado de divisão de tempo, garantindo assim que imprima
no arquivo % os valores correspondentes ao tempo de 30 em 30 dias
end
fprintf(fidaux,'\n\n');
end
```

Fonte – Os Autores, 2019.

Foram, então, simulados seis cenários (S_1 , S_2 , S_3 , S_4 , S_5 e S_6) com diferentes parâmetros de análise. Os cenários S_1 e S_2 contemplam características de populações que estão expostas ao vírus do sarampo, com uma taxa de contágio maior (β) em (S_1) e uma taxa de contágio menor em (S_2) entre infectados e suscetíveis, quando a quantidade de vacinas disponíveis não atende a população como um todo, ou seja, antes da utilização da logística reversa.

Os cenários S_3 e S_4 simulam o comportamento de populações que estão expostas ao vírus e tinham a quantidade necessária de vacinas contra o sarampo pela utilização da logística reversa em seu canal para reinserir vacinas de outras regiões que não estavam sendo usadas e poderiam vencer. Também são utilizados parâmetros de maior taxa de contágio maior (S_3) e



Citação (APA): Silva, W.D.O. & Barros, C.H. de. O. (2019). Simulação do desempenho logístico reverso na indústria farmacêutica em situações de surto de doenças infecciosas: uma abordagem baseada no modelo sir. *Brazilian Journal of Production Engineering*, 5(4), 53-65.

uma taxa de contágio menor (S_4) entre indivíduos para efeito de comparação com os estágios S_1 e S_2 .

Finalmente, os cenários S_5 e S_6 simulam o comportamento epidêmico de populações que já passaram por todos os estágios (suscetíveis, infectados e recuperados), mas são expostos ao contato com novos suscetíveis e infectados (S_5), e que tenham a logística reversa como estratégia emergencial para o manejo de vacinas (S_6). A Tabela 1 resume os parâmetros utilizados em cada um dos cenários.

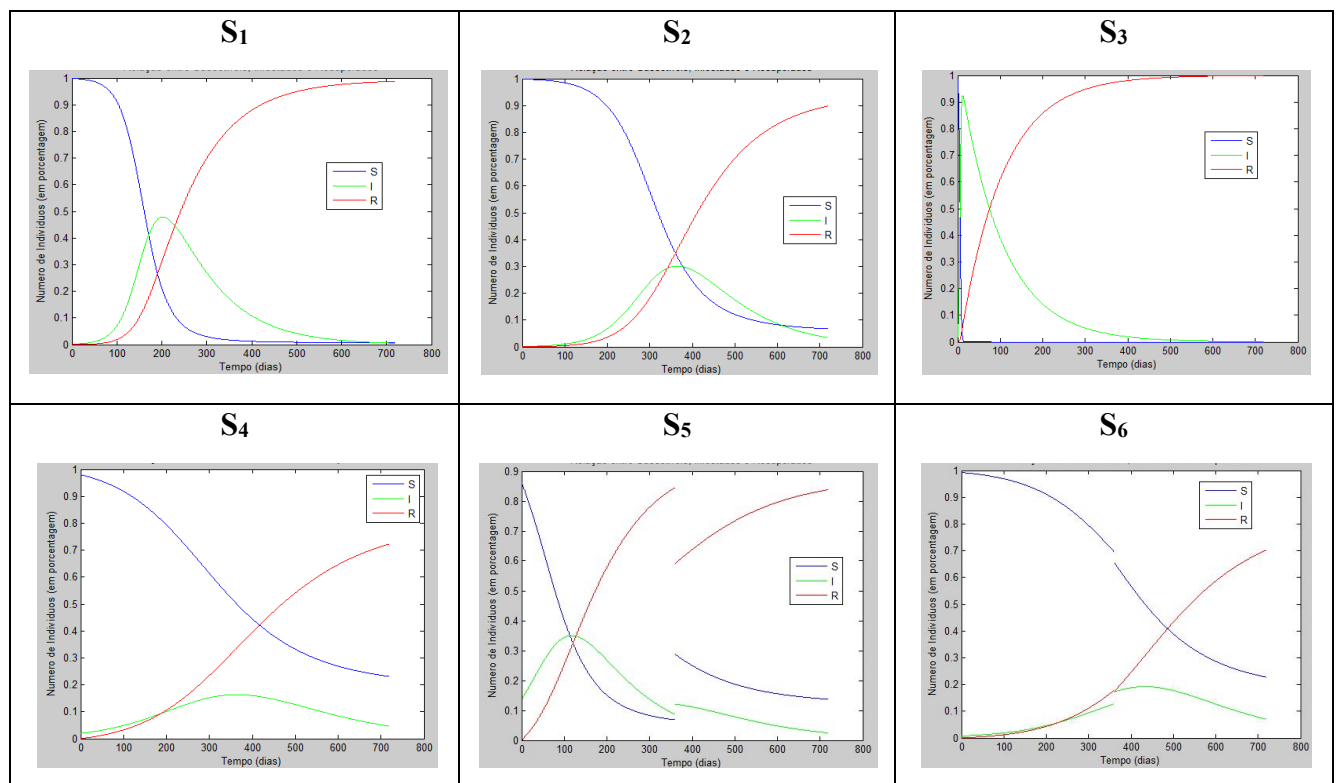
Tabela 1. Parâmetros dos cenários

Parâmetros	S_1	S_2	S_3	S_4	S_5	S_6
Suscetíveis	314912	314912	50	50	40	10
Infectados	450	450	1	1	10	10
Recuperáveis	0	0	0	0	0	0
Taxa de Contágio (γ)	0,05	0,03	0,7	0,02	0,03	0,03
Taxa de Recuperados (δ)	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Tempo	360	360	360	360	360	360

Fonte – Os Autores, 2019.

Por conseguinte, os cenários foram simulados. Os gráficos retornados para cada cenário estão sintetizados na Fig. 4.

Figura 4 – Relações entre suscetíveis, infectados e recuperados



Fonte – Os Autores, 2019.



Citação (APA): Silva, W.D.O. & Barros, C.H. de. O. (2019). Simulação do desempenho logístico reverso na indústria farmacêutica em situações de surto de doenças infecciosas: uma abordagem baseada no modelo sir. *Brazilian Journal of Production Engineering*, 5(4), 53-65.

Da Fig. 4, em relação ao gráfico do cenário S_1 , pode-se perceber que para as condições consideradas mesmo com uma taxa de contágio (γ) muito pequena, ao final de dois anos praticamente todos os indivíduos da população ficaram doentes. Os resultados apresentam certa semelhança para o cenário S_2 . Contudo, verifica-se que com uma taxa de contágio ainda menor que a do cenário S_1 , a quantidade de suscetíveis diminui mais lentamente e a população demora mais para ser infectada. Isto pode demonstrar uma sensibilidade maior nesse parâmetro para os casos em que a LR não é utilizada.

Já em relação ao cenário S_3 , considerou-se uma taxa de contágio muito alta propositalmente. No cenário S_3 , mesmo com uma taxa de contágio muito maior, o número de suscetíveis à doença diminui muito rapidamente, chegando a praticamente ficar nula em quase um mês. Para o cenário S_4 , o número de suscetíveis decresce, mas não tão rapidamente quanto para o cenário S_3 , o que demonstra ser um resultado consistente já que a taxa de contágio é bem menor que a do cenário S_3 .

Este resultado reafirma a sensibilidade do parâmetro taxa de contágio e demonstra que a utilização da LR para gerenciar as vacinas no canal é de suma importância para imunizar a população, uma vez que tanto para o cenário S_3 quanto para o S_4 o número de infectados decresce muito mais e mais rápido ao final de dois anos quando comparados aos cenários S_1 e S_2 .

Por fim, no que diz respeito ao cenário S_5 a descontinuidade no gráfico demonstra a situação em que são adicionados novos infectados para o caso em que não se utiliza a LR na gestão reversa de vacinas, a quantidade de suscetíveis e infectados é consideravelmente alta. Já no cenário S_6 , com a utilização da LR o número de suscetíveis cai muito mais rápido em relação a S_5 e o número de infectados também decresce bem mais rápido.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo ao qual o artigo se propôs foi alcançado com êxito, no sentido de que foi proposto um algoritmo para avaliar o impacto do desempenho da logística reversa (LR) na indústria farmacêutica para gerenciar fármacos, com o intuito de atender populações em situação de surtos de doenças infecciosas.

Os resultados obtidos, então, validaram a LR como um sistema de operacionalização eficaz para gerir os fármacos necessários a imunização de populações de determinadas regiões que estão sendo acometidas muito rapidamente por essas doenças.

A eficiência do algoritmo mostrou que mesmo que se desconsiderem termos de aproximação incorrida no processo, é possível visualizar o comportamento epidêmico de enfermidades em diversas situações que fazem parte do cotidiano social e que a logística reversa pode ser usada para obter um melhor desempenho para prevenir a proliferação da doença.

Como benefícios gerenciais, este estudo pode auxiliar organizações da indústria farmacêutica a diminuir o custo de suas operações, como o custo de armazenagem das quantidades



Citação (APA): Silva, W.D.O. & Barros, C.H. de O. (2019). Simulação do desempenho logístico reverso na indústria farmacêutica em situações de surto de doenças infecciosas: uma abordagem baseada no modelo sir. *Brazilian Journal of Production Engineering*, 5(4), 53-65.

sobressalentes de fármacos, já que estes serão reencaminhados no canal para regiões onde haja necessidades reais deles.

Atrelado a isto, tem-se, também, uma melhora no planejamento do ciclo de vida do produto, uma vez que os fármacos reencaminhados terão um menor risco de passarem da data de validade e, portanto, de serem desperdiçados. Indiretamente, pode-se destacar, por fim, a diminuição dos impactos ambientais causados pela destinação inadequada dos fármacos vencidos no meio ambiente.

REFERÊNCIAS

- Agrawal, S., Singh, R.K. & Murtaza, Q. (2015). A literature review and perspectives in reverse logistics. *Resources, Conservation and Recycling*, 97, 76–92.
- Amaro, A. & Barbosa-Povoa, A. (2009). The effect of uncertainty on the optimal closed-loop supply chain planning under different partnerships structure. *Computers and Chemical Engineering*, 33(2), 2144-2158.
- Bouzon, M., Govindan, K. & Taboada-Rodriguez, C. (2016). Identification and analysis of reverse logistics barriers using fuzzy Delphi method and AHP. *Resources, Conservation and Recycling*, 108, 182–197.
- Bravo, A. & Carvalho, J. (2013). Understanding pharmaceutical sustainable supply chains – a case study application. *Independent Journal of Management & Production*, 4(1), 228-247.
- Campos, E., Paula, I., Pagani, R. & Guarnieri, P. (2017). Reverse logistics for the end-of-life and end-of-use products in the pharmaceutical industry: a systematic literature review. *Supply Chain Management: An International Journal*, 22(4), 375–392.
- De Brito, M., Dekker, R., Flapper, S. & Dowe, P. (2005). Reverse Logistics: a Review of Case Studies. *Distribution Logistics. Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems*, 544, 243-281.
- Denhart, H. (2010). Deconstructing disaster: economic and environmental impacts of deconstruction in post-Katrina New Orleans. *Resources, Conservation and Recycling*, 54, 194-204.
- Fleischmann, M., Krikke, H., Dekker, R. & Flapper, S. (2000). A characterization of logistics networks for product recovery. *Omega, The International Journal of Management Science*, 8, 653–666.
- Govindan, K., Kaliyan, M., Kannan, D. & Hag, A. (2014). Barriers analysis for green supply chain management implementation in Indian industries using analytic hierarchy process. *International Journal of Production Economics*, 147, 555-568.
- Guide, D. & Van Wassenhove, L. (2002). The reverse supply chain: smart manufacturers are designing efficient processes for reusing their products. *Harvard Business Review*, 22, 25-26.



Citação (APA): Silva, W.D.O. & Barros, C.H. de O. (2019). Simulação do desempenho logístico reverso na indústria farmacêutica em situações de surto de doenças infecciosas: uma abordagem baseada no modelo sir. *Brazilian Journal of Production Engineering*, 5(4), 53-65.

He, Q., Beh, L., Ghobadian, A., Gallear, D. & O'regan, N. (2016). Second-life retailing: a reverse supply chain perspective. *Supply Chain Management: An International Journal*, 21(2), 259-272.

Hu, T., Shew, J. & Huang, K. (2002). A reverse logistics cost minimization model for the treatment of hazardous wastes. *Transportation Research*, 38, 457– 473.

Hunter,T., Droege, M., Marsh, W. & Droege, W. (2005). Effectively managing pharmaceutical returns and waste. *Drug Topics*, 149(2), 36.

Kinobe, J., Gebresenbet, G., Niwagaba, C. & Vinneras, B. (2015). Reverse logistics system and recycling potential at a landfill : A case study from Kampala City. *Waste Management*, 42, 82–92.

Krikke, H., Hofenk, D. & Wang, Y. (2013). Revealing an invisible giant: a comprehensive survey into return practices within original (closed-loop) supply chains. *Resources Conservation and Recycling*, 73, 239-250.

Kumar, S., Dieveney, E. & Dieveney, A. (2009). Reverse logisticprocesscontrolmeasures for thepharmaceuticalindustrysupplychain.*InternationalJournalof Productivity and Performance Management*, 58(2), 188-204.

Kumar, D., Soleimani, H. & Kannan, G. (2014). Forecasting return products in an integrated forward/reverse supply chain utilizing an anfis. *International Journal of Applied Mathematics and Computer Science*, 24(3), 669-682.

Keyvanshokoo, E. (2013). A dynamic pricing approach for returned products in integrated forward/reverse logistics network design. *Applied Mathematical Modelling*, 37(24), 10182–10202.

Mahmoudi, H. & Fazlollahtabar, H. (2014). A comprehensive mathematical programming model for minimizing costs in a multiple-item reverse supply chain with sensitivity analysis. *Management and Production Engineering Review*, 5(3), 42-52.

Mahmoudzadeh, M., Mansour, S. & Karimi, B. (2013). To develop a third-party reverse logistics network for end-of-life vehicles in Iran. *Resources, Conservation and Recycling*, 78, 1–14.

Martcheva, M. (2015). Introduction to Epidemic Modeling: An Introduction to Mathematical Epidemiology, *Springer, s.v.*, 9–31.

Matlab - Matlab for students. Retrieved Janeiro 02, 2019 from

https://www.mathworks.com/academia/student_version.html

Millet, D. (2011). Designing a sustainable reverse logistics channel: the 18 generic structures framework. *Journal of Cleaner Production*, 19(6), 588-597.

Ministério da Saúde. Brasília: Governo Federal. Retrieved Julho 22, 2019 from

<http://www.saude.gov.br/noticias/agencia-saude/45089-ministerio-da-saude-atualiza-casos-de-sarampo-19>



Citação (APA): Silva, W.D.O. & Barros, C.H. de. O. (2019). Simulação do desempenho logístico reverso na indústria farmacêutica em situações de surto de doenças infecciosas: uma abordagem baseada no modelo sir. *Brazilian Journal of Production Engineering*, 5(4), 53-65.

Narayana, S., A. Elias, A. & K. Pati, R. (2014). Reverse logistics in the pharmaceuticals industry: a systemic analysis. *The International Journal of Logistics Management*, 25(2), 379–398.

Nuss, C., Sahamie, R. & Stindt, D. (2015). The Reverse Supply Chain Planning Matrix: A Classification Scheme for Planning Problems in Reverse Logistics. *International Journal of Management Reviews*, 17(4), 413–436.

Oteng-Ababio, M., Arguello, J. & Gabbay, O. (2013). Solid waste management in African cities: sorting the facts from the fads in Accra. *Habitat International*, 39, 96–104.

Pereira Junior, H., Cortez, R., Penedo, A., Lima, N., Souza, G. da Silva, T., Queiroz, J. & Martins, E. (2013). Material management: a reverse logistics case of agrotoxics empty containers in a sugar and alcohol company. *European Scientific Journal*, 9(26), 76-85.

Prahinski, C. & Kocabasoglu, C. (2006). Empirical research opportunities in reverse supply chains. *Omega*, 34(6), 519-532.

Qiu, Y., Ni, M., Wang, L., Li, Q., Fang, X. & Pardalos, P. (2018). Production routing problems with reverse logistics and remanufacturing. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 111, 87–100.

Sharma, S., Panda, B., Mahapatra, S. & Sahu, S. (2011). Analysis of barriers for reverse logistics: an Indian perspective. *International Journal of Modeling and Optimization*, 1, 101-106.

Slama, H., Hussein, A., El-Bedwhey, N.A. & Selim, M. (2019). An approximate probabilistic solution of a random SIR-type epidemiological model using RVT technique. *Applied Mathematics and Computation*, 361, 144–156.

Teunter, R.; Inderfurth, K.; Minner, S.; Kleber, R. Reverse logistics in pharmaceutical company: a case study. *Econometric Institute Report*, v.9,s.p, 2013

Xie, Y. & Breen, L. (2014). Who cares wins? A comparative analysis of household waste medicines and batteries reverse logistics systems. *Supply Chain Management: An International Journal*, 19(4), 455–474.

Yusuf, I. & Raouf, A. (2013). Reverse logistics: an empirical study for operational framework. *Pakistan Academy of Science*, 50, 201-210.

Yoon, S. & Jeong, S. (2017). Effects to implement the open-innovation coordinative strategies between manufacturer and retailer in reverse supply chain. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, 3(1), 2.

