

MODELAGEM E SIMULAÇÃO DE UMA CADEIA DE SUPRIMENTOS COM FLUXO REVERSO E INCERTEZA DO MERCADO CONSUMIDOR

Breno Moreira Diniz¹
Leonardo Bittencourt de Melo²
Eduardo de Oliveira Pacheco³

RESUMO

Na atualidade, com o crescimento da população nos grandes centros consumidores a geração de lixo tem aumento de forma exponencial e torna-se um dos principais problemas a serem discutidos pela sociedade. Nas primeiras ações foi proposta a inserção de produtos que possam ser reaproveitados em algum momento do seu ciclo de vida, com isso, cria-se o conceito de reciclagem e torna-se o principal desafio da sociedade e das grandes corporações. As grandes corporações como ação (intuito de obter a vantagem competitiva), estão redimensionando as suas cadeias de suprimentos, onde o fluxo reverso de produtos finais é incorporado ao modelo tradicional. Dentro deste contexto, este artigo propõe a construção e estudo sobre o comportamento dinâmico de uma Cadeia de Suprimentos (CS) composta de três níveis produtivos: varejista, distribuidor e manufatura e com fluxo reverso de produtos finais, classificada como Cadeia de Suprimentos Recicláveis (*Closed-Loop Supply Chain - CLSC*), sob ação de incertezas do mercado consumidor. Um modelo de simulação é construído com o intuito de analisar e mensurar através das métricas Locais e Globais de desempenho dinâmico, criando uma nova perspectiva de investigação.

Palavras-chave: Cadeia de suprimentos. Métricas de desempenho. Fluxo reverso. Simulação.

¹ Aluno do curso de Engenharia de Produção da FAE Centro Universitário. Bolsista do Programa de Apoio à Iniciação Científica (PAIC 2018-2019). *E-mail*: b.mrdiniz@gmail.com

² Aluno do curso de Tecnologia em Logística da FAE Centro Universitário. Voluntário do Programa de Apoio à Iniciação Científica (PAIC 2018-2019). *E-mail*: leonardobittencourt@hotmail.com

³ Doutor em Ciências no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e Informática Industrial (CPGEI) da UTFPR. Professor dos cursos de Administração, Engenharia de Produção e Engenharia Mecânica da FAE Centro Universitário. *E-mail*: eduardo.pacheco@fae.edu

INTRODUÇÃO

Após a revolução industrial e com o crescimento da população e do consumo de produtos acabados, a sociedade tem gerado lixo em grande escala em quase todas as suas atividades, que vão desde a produção de itens até o consumo final de produtos. Este tem sido o principal problema a ser estudado nas últimas três décadas e tem se tornado um marco para o desenvolvimento industrial e da sociedade. A ideia de reduzir o lixo e reciclar os produtos foi inserida no pensamento social como elemento principal para garantir a sobrevivência das gerações futuras com a preservação do meio ambiente. Este pensamento absorve os conceitos de sustentabilidade (que inicialmente tinham somente o cunho econômico) que estão baseados no Tripé (*Triple Bottom Line*): sociedade, economia e meio ambiente. As grandes corporações observaram que poderiam obter vantagens competitivas no mercado, e passam a incorporar a sustentabilidade nas suas ações e por consequência na gestão de sua cadeia de suprimentos (CS). O trabalho de Thierry et al. (1995) discute questões estratégicas para a reciclagem e descarte de produtos e ou itens. Uma extensão deste trabalho é encontrada em Srivastava (2007) onde a cadeia sustentável foi abordada sobre o pensamento sistêmico e denominada de Cadeia de Suprimentos Verde (*Green Supply Chain - GSC*). A Reunião de Países da Europa (*Europe of the Fifteen - (EU-15)*) em 2000, estabeleceu metas que devem ser atingidas para reduzir os impactos ambientais, que incluem a combinação de tratamento adequado para o descarte de lixo, a utilização de material reciclado e de energia conforme trabalho de Salema, Póvoa e Novais (2006). Dentro deste novo desenho global, as corporações, começam a redesenhar as suas operações e por consequência novas configurações para a sua CS são propostas incorporando o fluxo reverso (*Closed-Loop Supply Chain - CLSC*). No trabalho de Fleischmann (2001) o projeto de uma rede logística é incorporado a uma CS com intuito de estudar os impactos do fluxo reverso, utilizando um modelo baseado na técnica de Programação Linear. No entanto, em outras abordagens conforme discutidos nos trabalhos de Das; Dutta (2012), He (2015), Dominguez; Cannella e Framinan (2015), Cannella; Bruccoleri e Framinan (2016) observa-se que a dinâmica, a simulação, as métricas (o efeito chicote e nível de serviço, por exemplo) e a sugestão de novas estruturas para CLSC são formalizadas e destacam-se na literatura acadêmica.

Motivado por estas considerações, neste artigo é proposto um modelo dinâmico de cadeia de suprimentos composto de três níveis produtivos (varejista, distribuidor e manufatura) com fluxo reverso de produtos, conhecido pelo jargão de cadeias de suprimentos em malha de realimentação (*Closed-Loop Supply Chain*). Utiliza-se a técnica de simulação na construção de um modelo em tempo discreto. As métricas de desempenho são implementadas para investigar os impactos sobre os níveis da CS. Como resultado espera-se mostrar que a técnica de simulação é apropriada para tratar de problemas que envolvam modelos dinâmicos, o que contribui de forma significativa

neste projeto de pesquisa, dando oportunidade a uma nova perspectiva de investigação. Este artigo está disposto na seguinte ordem: Na seção 1, faz-se a revisão da literatura, na seção 2, a metodologia do artigo e o modelo para *CLSC* é proposto, na seção 3, o modelo de simulação é construído, na seção 4, os resultados da simulação e no final, a conclusão.

1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

1.1 CADEIA DE SUPRIMENTOS RECICLÁVEIS

Uma cadeia de suprimentos (CS) pode ser definida tendo como ponto de partida, a identificação do produto final e o seu fluxo de informação Batalha et al. (1997). Uma extensão deste conceito foi discutida por Pires (2001), onde a CS está diretamente ligada a formação de *clusters* (são concentrações geográficas de algumas partes da cadeia produtiva) e considerada como ponto de partida para os estudos de avaliação da CS. Diversas estratégias e instrumentos são aplicáveis quando o objetivo é promover a sustentabilidade em processos de cadeias produtivas, do ponto de vista de resíduos uma gestão ambiental focalizada em resíduos, tem como intuito superar a ineficiência de processos e cadeias produtivas, é indispensável perseguir os seguintes pressupostos apresentado em Oliveira (2002), por exemplo, Princípio de sustentabilidade (na dimensão ambiental; Princípio do “poluidor pagador”; Princípio da precaução; Princípio da responsabilidade “do berço ao túmulo”; Princípio do menor custo de disposição e Princípio da redução na fonte. Com uma visão de estratégias ambientais a produção mais limpa (*Cleaner Production*) toma forma e torna-se de extrema importância na competitividade das CS abordando processos de produção, desenvolvimento de produtos e serviços Almeida (2002). Entretanto, na atualidade os conceitos de produção limpa adicionados ao de resíduos dão uma nova forma as CS e incorporam o fluxo reverso denominadas de *Closed-Loop Supply Chain - CLSC*, que tem como componentes principais os princípios de sustentabilidade com os aspectos econômico, social e ambiental, através da coleta seletiva de produtos finais que podem ser reaproveitados, incorporando as operações de coleta, separação, desmontagem, descarte de resíduos, remanufatura, reciclagem entre outras (FLEISCHMANN, 2001; SALEMA; PÓVOA; NOVAIS, 2006).

1.2 POLÍTICA DE CONTROLE

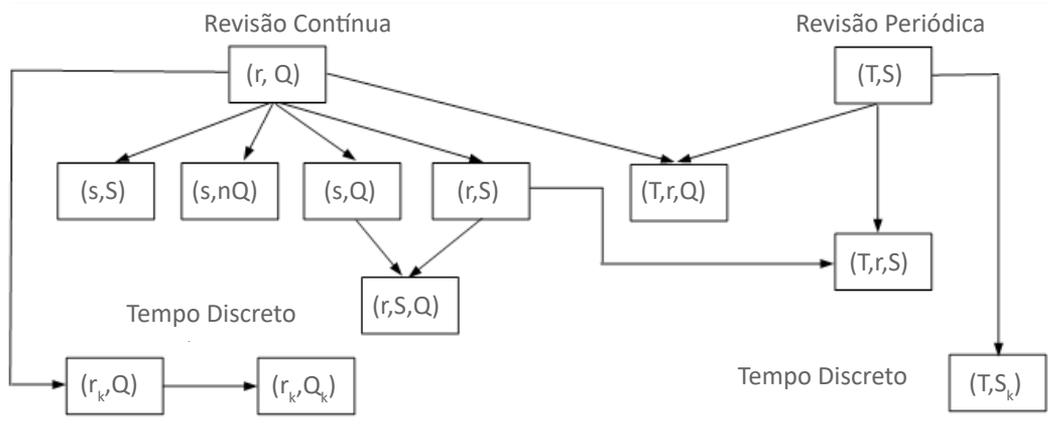
Nos sistema de produção a colocação ou solicitação adequada de uma ordem de reposição de produtos no estoque está baseada em regras e procedimentos. Isto caracteriza a formação de rotinas de abastecimentos cíclicas de reposição, determinando

o momento adequado para solicitar uma ordem na quantidade adequada, evitando o super (sub) dimensionamento dos estoques. Esta rotina de abastecimento cíclica necessita do tempo de solicitação de ordem e a quantidade necessária, é definida como política de ordem ou política de controle de estoque Cannella; Ciancimino, (2010). As políticas de ordem são estudadas desde os anos 30' do século XX e foram apresentadas pela literatura acadêmica como política de controle estático (*Static Control Policy*). Posteriormente foi dividida em sistema de revisão contínua (*Continuous Review System – (r,Q)*) e sistema de revisão periódica (*Periodic Review System – (T,S)*) (HARRIS, 1915; WILSON, 1934).

A política de controle estático (r,Q) está baseada no nível do ponto de pedido (r) e no tamanho do lote econômico (Q) ambos constantes. Para a política de controle estático (T,S) os intervalos de tempo (T) e nível de ressuprimento (S) ambos constantes, conhecida também como *Order-Up-To-Level (OUTL Policy)* (CHEN; DISNEY, 2007).

Na atualidade, entretanto, as políticas de controle estático tornam-se inadequadas para tratar de problemas que envolvem a dinâmica, por exemplo, incertezas na demanda de mercado, no *lead time*, nas ordens solicitadas, na distribuição dos produtos, mas tornam-se ponto de partida para a construção de políticas dinâmicas (PACHECO et al., 2017a). As políticas de controle dinâmico têm como características a observação da evolução dos seus parâmetros através do tempo, por exemplo, ponto de pedido (r_k), nível de ressuprimento (S_k), lote de reposição (Q_k), onde $k = 0,1,2,\dots,N$ representa o tempo discreto com intervalos fixos de tempo e conhecidos a priori, e N o final do horizonte de planejamento produtivo (BABAI; DALLERY, 2009; BABAI; JEMAI E DALLERY, 2011). A figura 1 mostra as políticas de controle mais estudadas na literatura e suas adaptações.

FIGURA 1 - Política de Controle e Adaptações



FONTE: Os autores (2018)

1.3 MÉTRICAS DE DESEMPENHO

As Cadeias de suprimentos (CS) nos últimos 30 anos têm sido estudadas e analisadas, e novas técnicas de gerenciamento tais como as métricas de desempenho têm sido abordadas na literatura acadêmica Forrester (1961), Lee, Padmanabhan e Whangs (1997), Chen, Drezner e Ryan (2000), Tako; Robinson (2012), Cigolini et al. (2014), Pacheco et al. (2017a), Pacheco (2017b). No trabalho de Cannella; Ciancimino (2010) foi apresentado os seis períodos de estudos sobre o efeito chicote (*Bullwhip Effect – Bwe*), na atualidade estamos na fase para evitar o *Bwe* (the *Bullwhip avoidance phase*). Outras métricas de grande importância também são discutidas para a CS global (*systemic*) ou por elo (*single member*), por exemplo, *Average Inventory*, *Average Fill Rate*, *Zero Replenishment*, *Systemic Zero Replenishment* entre outras Cannella et al. (2013). A seguir o quadro 1, mostra as principais métricas nos Elos e Globais desenvolvidas e utilizadas para estudos na Cadeia de Suprimentos.

QUADRO 1 – Notação das Métricas de Desempenho

Estatísticas			
σ_d^2	Market Demanda Variance	μ_d	Average Market Demand
σ_E^2	Inventory Variance	μ_Q	Average Lot size
σ_Q^2	Lot size Variance	μ_E	Average Inventory
$\partial OrVrR$	Angle of inclination of <i>BwSI</i>	$\partial InvVrR$	Angle of inclination of <i>InvInSI</i>
Métricas Elos (Locais)			
<i>OrVrR</i>	Order Rate Variance Ratio	<i>InvVrR</i>	Inventory Variance Ratio
<i>AvInv</i>	Average Inventory	<i>FR</i>	Fill Rate node by node
<i>AvOrd</i>	Average Orders	<i>ZR</i>	Zero Replenishment
B_{Log}	BackLog node by node		
Métricas Globais			
<i>InvInSI</i>	Inventory Instability Slope	<i>BwSI</i>	Bullwhip Slope
SB_{Log}	Systemic BackLog at Retailer	<i>SFR</i>	Systemic Fill Rate at Retailer
<i>SAVInv</i>	Systemic Average Inventory	<i>SZR</i>	Systemic Zero Replenishment

FONTE: Cannella et al. (2013)

No Quadro 2, apresenta-se um levantamento bibliográfico com trabalhos relevantes na literatura acadêmica abordando o tema cadeia de suprimentos com fluxo reverso e suas estruturas.

Autores	Metodologia	Fator dinâmico	Estrutura	Métricas	Contribuição
Savaskan, Bhattacharya, Van Wassenhove (2004)	Analítica	Coleta de produtos no varejista	CLSC	Custos logísticos; Lucratividade	Um simples mecanismo de coordenação adicionado a melhoria de coleta de produtos, produziu uma melhora na lucratividade de CLSC, semelhante ao modelo de coordenação centralizada.
Piotrowicz, Cuthbertson, Islei (2007)	Survey	Não há descrição	CLSC	Redução dos impactos poluentes no meio ambiente	A dimensão da tecnologia foi considerada desnecessária neste estudo e as três dimensões chave, “econômica”, “social” e “ambiental”, são confirmadas pela análise.
Pochampally, Gupta, Govindan (2009)	Analítica	Orçamento disponível	CLSC	Nível de satisfação do cliente	Devido às diferenças estruturais entre as CS e as CLSC, não é apropriado utilizar as mesmas métricas em ambas as abordagens.
Pishvaei, Rabbani, Torabi (2010)	Simulação com otimização robusta	Tempo de simulação; Função objetivo de otimização	CLSC	Custos totais; Custos de coleta; Custos de transporte; Custos de recuperação de produtos; Custos de redistribuição	Resultados computacionais mostram a superioridade do modelo robusto proposto tanto para lidar com dados incertos quanto na robustez de soluções respectivas em contra partida às soluções obtidas pelo modelo determinístico.
Alexander, Walker (2013)	Survey	Prosperidade econômica	SCCM	Impactos ambientais, econômicos e social	Uma revisão conceitual concluiu que a teoria de sistemas é um paradigma dos pesquisadores compartilhado pela SCM, ciências ambientais, teoria social e lógica dominante dos serviços.

Autores	Metodologia	Fator dinâmico	Estrutura	Métricas	Contribuição
Pereira, Paiva, Silva, Pugas (2015)	Analítica	Quantidade de paletes descartáveis; Quantidade de paletes retornáveis	Fluxo reverso	Custos totais (aquisição + manutenção); Custos médios	A implantação da logística reversa dos paletes pode trazer muitas vantagens às organizações como melhoria do seu controle de estoque, aumento da produtividade, facilita na aplicação do sistema Just in time e preservação do meio ambiente.
Balista, Chaves, Ribeiro (2015)	Survey	Rede complexa de cooperação	CLSC	Centralidade da rede; Quantidade de publicações	A literatura sobre logística reversa vem apresentando um crescimento considerável no decorrer dos anos em relação ao número de publicações de artigos e a quantidade de citações.
Kainuma, Sasaki, Disney (2017)	Simulação em tempo discreto	Política OUTL	CLSC	Custos totais e lucratividade	O modelo proposto apresenta maior lucratividade para CLSC quando incorporado produtos reconicionados.
Bridgens, Hobson, Lilley, Lee, Scott, Wilson (2017)	Analítica	Reciclagem	CLSC	Custos totais; Redução de descartáveis; Lucratividade	Desafios técnicos devem ser superados para que décadas de investimentos no reaproveitamento de produtos não seja perdida.
Melo,Vieira, Gusmão (2018)	Survey	Percentual de abordagem sobre o tema	Fluxo reverso	Percentual da quantidade de publicações por tema escolhido	Somente após 2015, tem-se visto a Logística Reversa deveria ser mais explorada nas publicações.

FONTE: Os autores (2018)

Observa-se que as metodologias mais utilizadas são o survey e analítica. Percebe-se que existem poucos estudos sobre a política de controle *OUTL* (*Order-Up-To-Level*) em

sistema de revisão contínua (r,S) o que pode caracterizar uma lacuna (*gap*) na literatura acadêmica. A mais estudada é a *CLSC*, mas destaca-se também a abordagem somente do fluxo reverso. Poucos trabalhos abordam as métricas tradicionais, mas geralmente dão ênfase ao atendimento ao cliente, lucratividade, custos totais, impactos ambientais e econômicos. O trabalho de Cannella; Bruccoleri e Framinan (2016) apresenta um estudo aprofundado sobre as abordagens da *CLSC* onde se busca mostrar como devem ser utilizadas as métricas tradicionais e os impactos a serem analisados. Motivado por estas considerações neste projeto de pesquisa a política de controle a ser utilizada é *OUTL* em sistemas de revisão contínua (r,S) em tempo discreto, as métricas analisadas serão: efeito chicote, níveis dos estoques e das ordens de produção, *backlog* e nível de serviço ao cliente. A técnica de simulação utilizada é a por tempo discreto onde os intervalos de tempo são constantes e conhecidos a priori. Entretanto, pedidos dos clientes (demanda de mercado) podem chegar de forma inesperada e não podem ser descartados.

2 METODOLOGIA

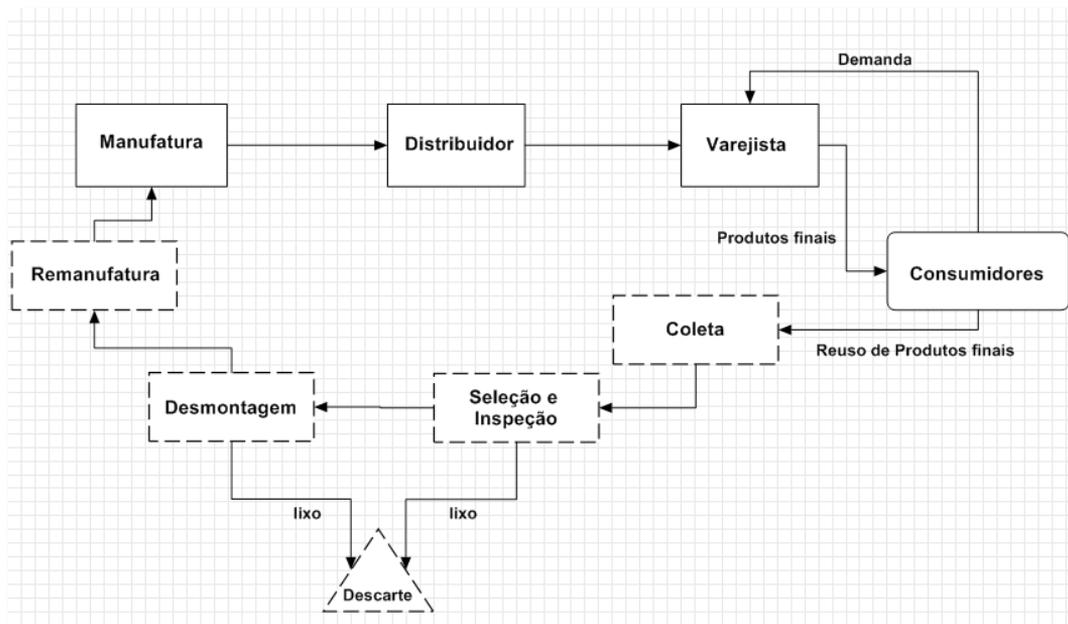
O contexto deste projeto de pesquisa está baseado na construção e simulação de um modelo de cadeia de suprimentos com fluxo reverso, conhecido na literatura acadêmica como (*Closed-Loop Supply Chain*). A construção de ideias, definição dos objetivos, a determinação ou dimensionamento dos limites da investigação e a construção das hipóteses. São as partes iniciais e fundamentais para o desenvolvimento de uma ótima pesquisa e perspectiva do aprofundamento da investigação.

A metodologia a ser implementada neste artigo é composta da pesquisa exploratória que se resume em levantamento bibliográfico e estudos de casos. Do ponto de vista da apresentação de possíveis soluções para o problema, a pesquisa explicativa dá-se neste momento, contribuindo com a construção de hipóteses e utilização de experimentos para a validação do modelo construído.

Em um primeiro momento, a *CLSC* é submetida a uma simulação ainda sem o fluxo reverso, retornando as informações sobre os impactos de eventos específicos nos estoques e ordens de reposição, e permitindo fazer uma análise inicial do desempenho dinâmico. Em um segundo momento, o fluxo reverso (mais precisamente no estoque da manufatura) é inserido na simulação gerando novas informações sobre o desempenho dinâmico, que serão utilizadas para fins de comparação entre os resultados em ambos cenários sob os mesmos parâmetros. De um modo geral, pretende-se obter uma nova perspectiva sobre o problema analisado e propor ideias para o aprofundamento da investigação sobre cadeias de suprimentos com fluxo reverso.

Neste artigo, pretende-se com a simulação: investigar o comportamento dinâmico de uma cadeia de suprimentos tendo como base as informações reais do mercado consumidor de uma indústria. Na figura 2, apresenta-se o modelo de cadeia de suprimentos. Em linha contínua apresenta-se a cadeia de suprimentos (*Supply Chain*) com três níveis produtivos (fornecedores, manufatura e varejista) e em tracejado os processos relacionados ao fluxo reverso (*Closed-Loop*).

FIGURA 2 – Cadeia de Suprimentos com Fluxo Reverso (*Closed-Loop Supply Chain*)



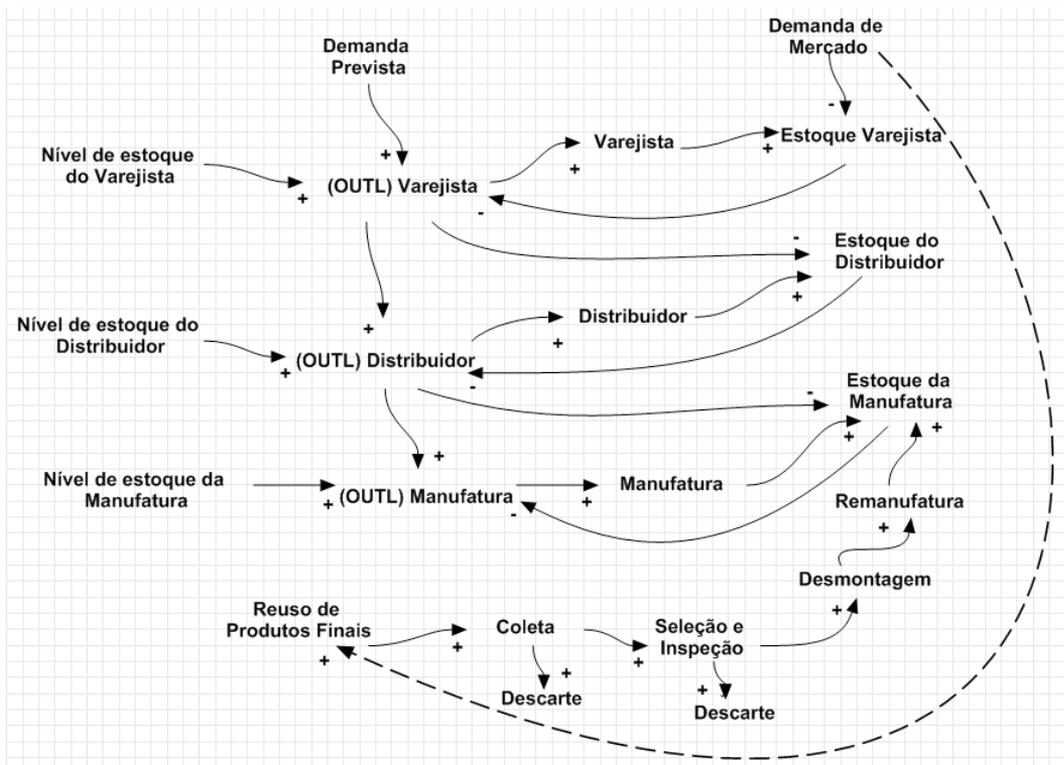
FONTE: Os autores (2018)

3 SIMULAÇÃO DA CADEIA DE SUPRIMENTOS COM FLUXO REVERSO

A CS é submetida inicialmente sem a influência do fluxo reverso e então se obtém as informações sobre os estoques e ordens de reposição, construindo-se as métricas. Posteriormente o fluxo reverso é incorporado e novas medições são feitas considerando as mesmas variáveis. Finalmente uma análise comparativa é feita com o intuito de verificar quais são os impactos causados nas métricas com a inclusão do fluxo reverso e investigar os possíveis fenômenos ocorridos. A política de controle utilizada na simulação é a (r,S) caracterizada como *Order-Up-To-Level (OUTL)* em sistema de revisão contínua, por ser de fácil implementação e robusta no sentido de geração das informações necessárias Chen; Disney (2007). A Figura 3 ilustra a dinâmica da CLSC que será simulada. A demanda de mercado retira produtos do estoque varejista, ao atingir

o ponto de pedido uma ordem de reposição *OUTL* é solicitada tendo como base o nível do estoque varejista, a demanda prevista e o nível desejado para o estoque. A ordem solicitada pelo varejista será a demanda para o nível do distribuidor, essa dinâmica é estendida ao nível da manufatura. No fluxo reverso a coleta dos produtos finais é feita, posteriormente o que aproveitado vai para seleção e inspeção e o refugo é descartado. Na desmontagem, os produtos são fracionados em partes e enviados a remanufatura, e posteriormente para o estoque da manufatura como um produto novo. O sinal (+) representa um incremento e o (-) a redução, por exemplo, um aumento no estoque da manufatura causado pela remanufatura de produtos reduz a solicitação de ordem de produção.

FIGURA 3 – Dinâmica da Cadeia de Suprimentos com Fluxo Reverso (*Closed-Loop Supply Chain*)

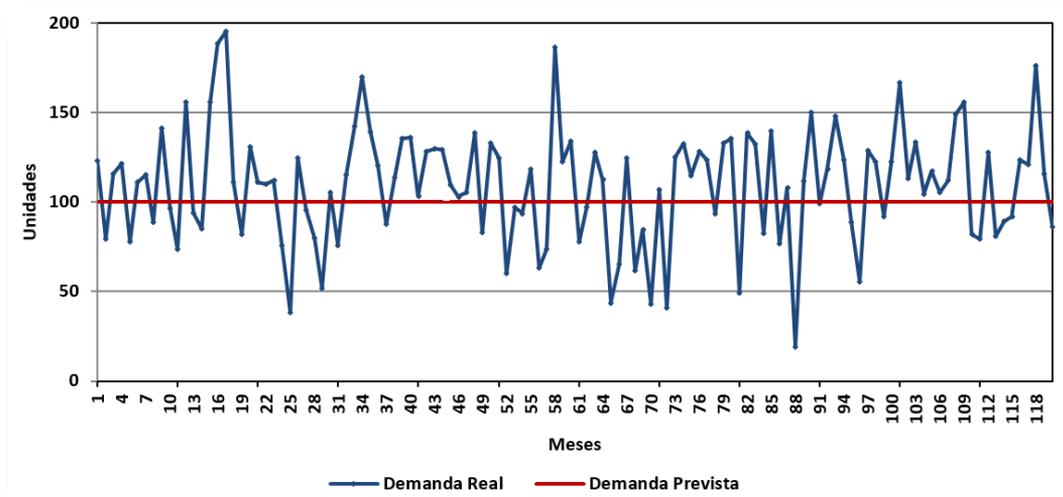


FONTE: Os autores (2018)

Na simulação, assume-se que o fluxo de informação da demanda entre os elos da CS é assimétrico, ou seja, somente o nível varejista tem acesso à demanda de mercado. A demanda de mercado é simulada conforme distribuição estatística Normal - $N(\mu_d, \sigma_d^2)$ com média (μ_d) de 109,41 produtos [p] e desvio padrão (σ_d) de 32,39 [p] com intervalo de confiança de 95%, para a demanda prevista considera-se uma média de 100 [p], ambas totalizando 120 meses [m] de informações (veja a Figura 4). Na Figura 5, observa-se que a coleta de produtos finais é aleatória variando em períodos e quantidades, procura-se

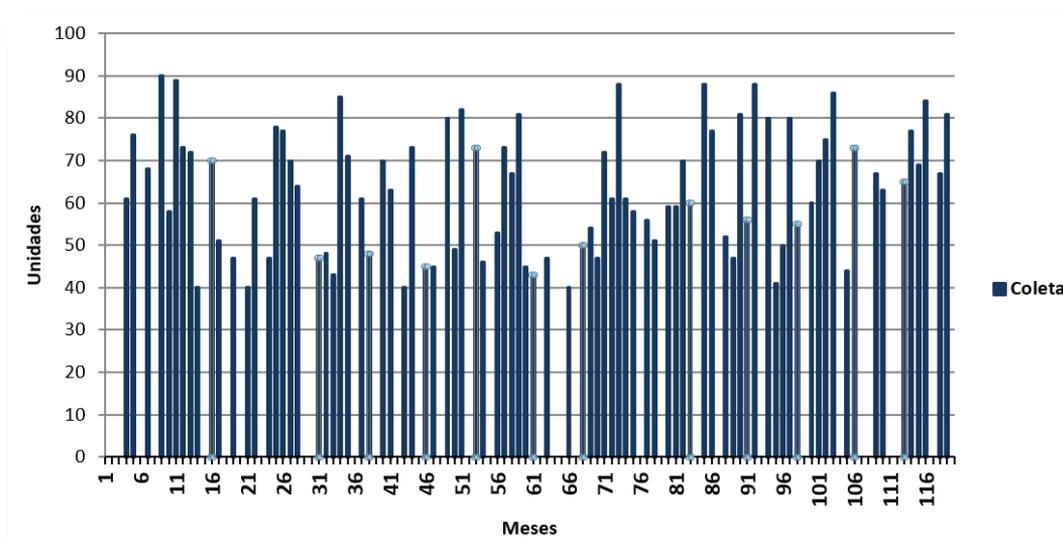
submeter à CLSC o mais próximo possível da realidade do mercado. A demanda da coleta apresenta média (μ_{dc}) de 44,47 produtos [p] e desvio padrão da coleta (σ_{dc}) de 31,30 [p] com intervalo de confiança de 95% e distribuição Normal - $N(\mu_{dc}, \sigma_{dc}^2)$. O descarte representa 10% da demanda da coleta.

FIGURA 4 - Gráfico da Demanda de Mercado



FONTE: Os autores (2018)

FIGURA 5 - Gráfico da Coleta dos Produtos Finais



FONTE: Os autores (2018)

Os parâmetros que configuram a CLSC para os cenários de simulação são apresentados na Tabela 1. O estoque de segurança é definido utilizando o conceito de estoque de nível (*Echelon Inventory*, veja Sherbrooke (2006)). O *lead time* é caracterizado como o tempo variável mensal [m] para a entrega do produto, e

modelado por uma distribuição uniforme. O nível de serviço ao cliente é considerado de 95% para todos os níveis da *CLSC* e utilizando dez replicações para a construção de um cenário.

TABELA 1 - Parâmetros para os Três Níveis da *CLSC*

Parâmetros	Unidade	Varejista	Distribuidor	Manufatura	Fluxo Reverso
Estoque de segurança	[p]	100	200	300	0,00 ± 0,00
Lead time variável	[m]	1,87 ± 0,87	2,17 ± 0,83	1,50 ± 0,53	0,00 ± 0,00
Lead time variável do fluxo reverso	[m]	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	1,57 ± 1,12

FONTE: Os autores (2018)

3.1 PRESSUPOSTOS DA SIMULAÇÃO

Neste artigo assumem-se as seguintes hipóteses para a simulação:

- I. Estratégia de gestão da demanda MTS, ou seja, todos os estoques estão no seu nível de ressuprimento;
- II. Os estoques por nível da *CLSC* foram parametrizadas com base na política de controle (r,S) em sistema de revisão contínua;
- III. Somente o nível varejista está sob ação da demanda de mercado;
- IV. A demanda de mercado assume valor médio previsto de 100 [p/m] para parametrização de todos os estoques da *CLSC*;
- V. O fluxo reverso da *CLSC* é acionado após a primeira demanda ser consumida;
- VI. Uma quantidade de produtos remanufaturados é enviada para o estoque da manufatura e altera o nível de ressuprimento.

4 RESULTADOS

Na Tabela 2, as estimativas para média e desvio padrão dos estoques e das ordens de reposição, com os seus respectivos intervalos de confiança são fornecidos. Observa-se que não há uma diferença estatística significativa quando se incorpora o fluxo reverso. Uma análise das métricas *OrVrR* e *InvVrR* (veja Tabela 3) seria mais adequada para discutir o comportamento dos estoques e das ordens em relação aos níveis da *CLSC*, e posteriormente utilizando as métricas *BwSI* e *InvInSI* (veja as Figuras 6 e 7) para estudar o comportamento dos níveis, conforme discutido nos trabalhos de (DEJONCKHEERE et al. 2003; CANNELLA et al. 2013).

TABELA 2 – Métricas Locais de Desempenho [Estoques e Ordens]

Nível da CLSC sem fluxo reverso	Varejista	Distribuidor	Manufatura
AvInv [p]	371,44 ± 28,52	717,36 ± 68,56	1376,12 ± 142,65
Std AvInv [p]	198,46 ± 18,80	473,94 ± 48,50	418,53 ± 39,87
AvOrd [p]	560,21 ± 50,65	1232,47 ± 102,36	1232,47 ± 104,63
Std AvOrd [p]	32,33 ± 4,23	258,74 ± 23,68	258,74 ± 26,56
Nível da CLSC com fluxo reverso	Varejista	Distribuidor	Manufatura
AvInv [p]	371,44 ± 28,52	717,36 ± 68,56	1288,90 ± 137,98
Std AvInv [p]	198,46 ± 18,80	473,94 ± 48,50	419,99 ± 38,54
AvOrd [p]	560,21 ± 50,65	1232,47 ± 102,36	1242,97 ± 106,98
Std AvOrd [p]	32,33 ± 50,65	258,74 ± 23,68	268,13 ± 27,35

FONTE: Os autores (2018)

Conforme sugerido, as métricas *OrVrR* e *InvVrR* são apresentadas na Tabela 3, destacam-se dois pontos chaves o primeiro ponto está relacionado a capacidade de amortecimento do estoque do nível varejista (reduzidor da amplificação da demanda $|OrVrR| < 1$). No segundo ponto, o nível distribuidor funciona como amortecedor da variabilidade dos estoques, reduzindo de forma drástica os impactos (instabilidade) sobre a manufatura mesmo com a influência do fluxo reverso Towill; Del Vecchio (1994). Não há variação significativa nas informações obtidas quando é adicionado o fluxo reverso.

TABELA 3 – Métricas Locais de Desempenho [Análise de Instabilidade]

Nível da CLSC sem fluxo reverso	Varejista	Distribuidor	Manufatura
OrVrR (Bwe)	0,20	4,80	5,67
InVrR	11,06	32,66	13,57
FR [%]	1,00	0,95	1,00
B _{Log} [p]	602	2304	0,0
Nível da CLSC com fluxo reverso	Varejista	Distribuidor	Manufatura
OrVrR (Bwe)	0,20	4,80	6,03
InVrR	11,06	32,66	14,28
FR [%]	1,00	0,95	1,00
B _{Log} [p]	602	2304	0,0

FONTE: Os autores (2018)

Na Tabela 4, mostra-se o desempenho das métricas globais, nota-se que ao inserir o fluxo reverso, uma redução da ordem de 3% no nível global dos estoques (*SAvIn*), um aumento na inclinação da ordem de 10% para o *OrVrR* (através da métrica *BwSI*)

com impacto de 2º (graus) e de 30% para a inclinação da *InvVrR* (através da métrica *InvInSI*) com impacto de 7º (graus) são observadas. Estas informações confirmam os dados obtidos na Tabela 3.

TABELA 4 - Métricas Globais de Desempenho

Nível da CLSC sem fluxo reverso	Varejista
SAVIn [p]	2434
BwSI (ºGraus)	2,73 (69,88º)
InvInSI (ºGraus)	1,25 (51,34º)
SFR [%]	0,88
SB _{Log} [p]	602
Nível da CLSC com fluxo reverso	Varejista
SAVIn [p]	2377
BwSI (º Graus)	2,91 (71,03º)
InvInSI (º Graus)	1,61 (58,15º)
SFR [%]	0,88
SB _{Log} [p]	602

FONTE: Os autores (2018)

CONCLUSÃO

Neste artigo, foi proposta a construção de uma cadeia de suprimentos composta de três níveis produtivos com fluxo reverso, denominada de Closed-Loop *Supply Chain* (CLSC) sujeita a incertezas do mercado consumidor. A CLSC foi construída tendo como base a dinâmica de sistemas proposta em Forrester (1961). Posteriormente um modelo de simulação derivado desta estrutura foi construído considerando a política de controle *OUTL* (*Order-Up-To-Level*) em sistema de revisão contínua (r,S). Métricas de desempenho Locais e Globais foram utilizadas para analisar o desempenho dinâmico e uma análise comparativa entre duas estruturas foi discutida. Os resultados (veja as Tabelas 2, 3 e 4) mostram que alterando o nível de ressuprimento da manufatura melhora os estoques globais na ordem de 3%, mantém o efeito chicote e as instabilidade dos estoques sem alterações. Para o *Fill Rate* (FR) o nível de serviço é mantido acima de 95% como desejado e uma mínima parcela das ordens não foram atendidas no momento certo (B_{Log}) (veja Tabela 3). Sugere-se uma investigação mais aprofundada, adicionando o fluxo reverso ao varejista e ao distribuidor e verificar se os comportamentos destes fenômenos são confirmados.

REFERÊNCIAS

- ALEXANDER, A.; WALKER, H. Sustainable supply chain management: achieving optimal performance and outcomes. In: EUROMA CONFERENCE, 20., 2013, Dublin. **Proceedings...** Dublin, 2013. p. 7-12.
- ALMEIDA, F. **O bom negócio da sustentabilidade**. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 2002.
- BABAI, Z. M.; DALLERY, Y. Dynamic versus static control policies in single stage production inventory systems. **International Journal of Production Research**, Paris, v. 47, n. 2, p. 415-433, jan. 2009.
- BABAI, M. Z.; JEMAI, Z.; DALLERY, Y. Analysis of order-up-to-level inventory systems with compound Poisson demand. **European Journal of Operational Research**, v. 210, n. 3, p. 552-558, maio 2011.
- BALISTA, C. W. et al. Logística reversa: a viabilidade da utilização de paletes de madeira. In: SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 21., 2015, São Paulo. **Anais...** São Paulo, 2015.
- BATALHA, M. O. et al. **Gestão agroindustrial**. São Carlos: Atlas, 1997.
- BRIDGENS, B. et al. Closing the loop on e-waste: a multidisciplinary perspective. **Journal of Industrial Ecology**, New Haven, v. 23, n. 1, p. 169-181, Aug. 2017.
- CANNELLA, S.; BARBOSA, P. A. P.; FRAMINAN, J. M.; RELVAS, S. Metrics for bullwhip effect analysis. **Journal of the Operational Research Society**, Londres, v. 64, n. 1, p. 1-16, 2013.
- CANNELLA, S.; BRUCCOLERI, M.; FRAMINAN, J. M. Closed-loop supply chains: What reverse logistics factors influence performance? **International Journal of Production Economics**, v. 175, p. 35-49, Feb. 2016.
- CANNELLA, S.; CIANCIMINO, E. On the bullwhip avoidance phase: supply chain collaboration and order smoothing. **International Journal of Production Research**, Londres, v. 48, n. 22, p. 6739-6776, Jan. 2010.
- CHEN F.; DREZNER Z.; RYAN J. K. Quantifying the Bullwhip Effect in a Simple Supply Chain: the Impact of Forecasting, Lead-times and Information. **Management Science**, v. 46, n. 3, p. 436-443, 2000.
- CHEN, Y. F.; DISNEY, S. M. The myopic order-up-to policy with a proportional feedback controller. **International Journal of Production Research**, v. 45, n. 2, p. 351-368, 2007.
- CIGOLINI, R. et al. Linking supply chain configuration to supply chain performance: A discrete event simulation model. **Simulation Modelling Practice and Theory**, v. 40, p. 1-11, 2014.
- DAS, D.; DUTTA, P. A simulation study of bullwhip effect in a closed-loop supply chain with fuzzy demand and fuzzy collection rate under possibility constraints. **World Academy of Science, Engineering and Technology**, v. 64, p. 1245-1252, 2012.
- DEJONCKHEERE, J. et al. Measuring and avoiding the bullwhip effect: A control theoretic approach. **European Journal of Operational Research**, v. 147, n. 3, p. 567-590, 2003.
- DOMINGUEZ, R.; CANNELLA, S.; FRAMINAN, J. M. On returns and network configuration in supply chain dynamics. **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**, v. 73, p. 152-167, 2015.
- FLEISCHMANN, M. et al. The impact of product recovery on logistics network design. **Production and operations management**, v. 10, n. 2, p. 156-173, 2001.
- FORRESTER, J. W. **Industrial dynamics**. Cambridge, Mass: MIT, 1961.
- HARRIS, F. W. **Operations and cost (Factory Management Series)**. Chicago: Shaw Company, 1915.
- HE, Y. Acquisition pricing and remanufacturing decisions in a closed-loop supply chain. **International Journal of Production Economics**, v. 163, p. 48-60, 2015.
- KAINUMA, Y.; SASAKI, Y.; DISNEY, S. M. Impact of cannibalization in a remanufacturing supply chain. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRODUCTION RESEARCH, 24., 2017, Poznan. **Proceedings...** Lancaster, 2017.

LEE, H. L.; PADMANABHANV, V.; WHANGS, S. The bullwhip effect in supply chain. **Sloan Management Review**, Cambridge, v. 38, p. 93-102, Apr. 1997.

MELO, L. D. F.; VIEIRA, K. S.; GUSMÃO, A. P. H. Um panorama da logística reversa no Brasil a partir da pnrs - uma revisão da literatura. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 38., 2018, Maceió. **Anais...** Maceió, 2018.

OLIVEIRA, J. H. R. de. M. A. I. S. **Método para avaliação de indicadores de sustentabilidade organizacional**. 2002. 196 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

PACHECO, E. O. **Uma política de controle dinâmico de estoques em uma cadeia de suprimentos serial com incerteza na demanda de mercado usando eventos discretos**. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica e Informática Industrial) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2017b.

_____. et al. Order-up-to-level policy update procedure for a supply chain subject to market demand uncertainty. **Computers & Industrial Engineering**, v. 133, p. 347-355, Nov. 2017.

PEREIRA, A. G. et al. Logística reversa: a viabilidade da utilização de paletes de madeira. In: SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 21., 2015, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa, 2015.

PIOTROWICZ, W.; CUTHBERTSON, R.; ISLEI, G. Sustainable supply chains: a framework for best practice assessment: results of the pilot study. **BestLog project**, Oxford, 2007.

PIRES, M. S. **Construção do modelo endógeno, sistêmico e distintivo de desenvolvimento regional e a sua validação através da elaboração e da aplicação de uma metodologia ao caso do Mercoeste**. 2001. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis, 2001.

PISHVAEE, M. S.; RABBANI, M.; TORABI, S. A. A robust optimization approach to closed-loop supply chain network design under uncertainty. **Applied Mathematical Modelling**, Teerã, v. 35, n. 2, p. 637-649, Feb. 2011.

POCHAMPALLY, K. K.; GUPTA, S. M.; GOVINDAN, K. Metrics for performance measurement of a reverse/closed-loop supply chain. **International Journal of Business Performance and Supply Chain Modelling**, Olney, v. 1, n. 1, p. 8-32, May 2009.

SALEMA, M. I. G.; BARBOSA-POVOA, A. P.; NOVAIS, A. Q. An integrated model for the design and planning of supply chains with product return. In: SALEMA, M. I. G. **Computer Aided Chemical Engineering**. Lisboa: Elsevier, 2006. p. 2129-2134.

SAVASKAN, R. C.; BHATTACHARYA, S.; WASSENHOVE, L. N. van. Closed-loop supply chain models with product remanufacturing. **Management science**, Catonsville, v. 50, n. 2, p. 239-252, Feb. 2004.

SHERBROOKE, C. C. **Optimal inventory modeling of systems: multi-echelon techniques**. New York: Springer Science & Business Media, 2006.

SRIVASTAVA, S. K. Green supply-chain management: a state-of-the-art literature review. **International Journal of Management Reviews**, Nova Jersey, Green supply-chain management: a state-of-the-art literature review v. 9, n. 1, p. 53-80, Mar. 2007.

TAKO, A. A.; ROBINSON, S. The application of discrete event simulation and system dynamics in the logistics and supply chain context. **Decision support systems**, v. 52, n. 4, p. 802-815, Mar. 2012.

THIERRY, M. et al. Strategic issues in product recovery management. **California management review**, Berkeley, v. 37, n. 2, p. 114-136, Jan. 1995.

WILSON, R. H. A scientific routine for stock control. **Harvard Business Review**, Harvard, n. 13, p. 116-128, 1934.