

UTILIZAÇÃO DOS CONCEITOS DE REDES COMPLEXAS NA TOPOLOGIA DA CADEIA DE SUPRIMENTOS

Ingrid Paredes Amaral¹
Lucas Olenik de Souza²
Wesley Macedo Sales³
Eduardo de Oliveira Pacheco⁴

RESUMO

As Cadeias de Suprimentos (CS) tem-se destacado na literatura contemporânea como um fator determinante para obtenção da vantagem competitiva entre as organizações. Para tanto, se faz necessário utilizar metodologias que analisam os seus comportamentos estruturais, com o objetivo de torná-las cada vez mais eficientes e menos sujeitas às distorções do mercado consumidor, ou seja, aumentando a sua resiliência (pode ser entendida como a capacidade que a CS possui de retornar ao seu estado natural, após sofrer distorções). Neste trabalho de pesquisa é construída uma metodologia para identificar qual a melhor CS a ser utilizada dentro das seguintes características topológicas clássicas (tradicional, fluxo reverso, divergente e seu caso específico denominado de arborescente) utilizando como métrica o maior valor para o fator de divergência. Posteriormente, as CS são mensuradas através das métricas de desempenho (vértices, arestas, grau, densidade, diâmetro, distância, assortatividade, desassortatividade) sob os conceitos de redes complexas para isto, utiliza-se o software R. Um ambiente de simulação é então construído para validar

- ¹ Aluna do 7º período do curso de Negócios Internacionais da FAE Centro Universitário. Bolsista do Programa de Apoio à Iniciação Científica (PAIC 2019-2020). *E-mail:* ingridparedesamaral98@gmail.com
- ² Aluno do 5º período do curso de Negócios Internacionais da FAE Centro Universitário. Voluntário do Programa de Apoio à Iniciação Científica (PAIC 2019-2020). *E-mail:* olenik.lucas@gmail.com
- ³ Aluno Externo Voluntário do Programa de Apoio à Iniciação Científica (PAIC 2019-2020). *E-mail:* w.macedosales@gmail.com
- ⁴ Orientador da Pesquisa. Doutor em Ciências pelo CPGEI/UTFPR. Professor da FAE Centro Universitário. *E-mail:* eduardo.pacheco@fae.edu

a metodologia proposta. Como resultado, espera-se que a CS escolhida forneça informações adequadas para os seus participantes (*players*) em relação ao fluxo de informação e de materiais, destacando a capacidade de resiliência e eficiência, com objetivo de facilitar a tomada de decisão, o que abre uma nova perspectiva de investigação em cadeias de suprimentos.

Palavras-chave: Cadeia de Suprimentos. Métricas de Desempenho. Divergente. Simulação.

INTRODUÇÃO

Redes complexas é um termo que abrange várias áreas de estudos, por exemplo, física, engenharia, redes sociais, bioengenharia. O seu conceito está baseado na teoria de grafos (compostos de nós e arestas) que tem como origem a matemática discreta. Seus primeiros estudos iniciaram no século XVIII com EULER, onde foi proposta a solução para o problema da ponte de Königsberg. Na atualidade, entretanto, a abordagem de redes complexas incorpora o comportamento do mundo real e seus estudos são aprofundados resultando na construção de novas topologias – estruturas sociais, internet, redes de planetas, galáxias, estruturas atômicas, por exemplo (EASLEY et al., 2010; NEWMAN, 2018).

Na abordagem de cadeias de suprimentos o trabalho de Hearnshaw e Wilson (2013) discute as vantagens de aplicar aos conceitos de redes complexas e sugere (contribuições) aos leitores, qual deve ser o melhor caminho a ser seguido para desenvolver estruturas (Topologias) resilientes e eficientes, tendo como base as redes estáticas e dinâmicas (Barabási-Albert – BA e WattsStrogatz – WS). Considerando alta clusterização, formação de hubs, redes altamente conectadas e com curtas ligações entre seus componentes. Uma tabela contendo os principais parâmetros foi construída para apresentar a diferença entre os modelos e ilustrar uma discussão.

Em outras abordagens sobre topologias de Cadeias de Suprimentos, os trabalhos de Dominguez, Framinan e Cannella (2014), Dominguez, Cannella e Framinan (2015a), Cannella, Bruccoleri e Framinan (2016), Cannella et al. (2017) discutem métricas, sistemas de reposição, topologia (serial e divergente) e redes de suprimentos com fluxo reverso (*Closed Loop Supply Chain – CLSC*). Observa-se que a dinâmica e a simulação são formalizadas e servem de base para discussão sobre topologias de Cadeias de Suprimentos e determina qual é o limite de aplicação, destacando-se como referência na literatura acadêmica. Motivado por estas considerações, neste trabalho é proposta a construção de topologias, mais precisamente estruturas estáticas clássicas (topologias) de CS (tradicional, fluxo reverso, divergente e arborescente), mensuradas através do fator de divergência e das métricas de desempenhos (vértices, arestas, grau, densidade, diâmetro, distância, assortatividade, desassortatividade) para redes complexas, destacando a eficiência e resiliência. Posteriormente um ambiente de simulação será construído para validar a proposta.

Este projeto é a continuação do projeto PAIC 2018/2019 sob o título de Modelagem e Simulação de Uma Cadeia de Suprimentos com Fluxo Reverso e Incerteza do Mercado Consumidor. Como resultado espera-se mostrar que o conceito de redes complexas é adequado para desenvolver e analisar estruturas estáticas e dinâmicas que envolvam

alta complexidade de conexões, 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, na seção 3, as topologias das cadeias de suprimentos, na seção 4, as métricas de desempenho para topologias das cadeias de suprimentos, na seção 5, os resultados da simulação e no final, a conclusão.

1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

As Cadeias de Suprimentos (CS) tem-se destacado na literatura contemporânea como um fator para obtenção da vantagem competitiva, desde que funcione de forma eficiente através da disponibilidade de seus produtos no momento certo, na quantidade exata e com redução de custos operacionais Christopher; Peck (2004). Entretanto os riscos de perdas e as vulnerabilidades são intrínsecos a dinâmica das cadeias de suprimentos (ANNARELLI; NONINO, 2016).

Para tanto, faz-se necessário utilizar metodologias que analisam os seus comportamentos estruturais, com o objetivo de torná-las cada vez mais eficientes e menos sujeitas às distorções do mercado consumidor, ou seja, aumentando a sua resiliência, de acordo com Ambulkar, Blackhurst e Grawe (2015). Uma abordagem simples de resiliência é definida, como a capacidade que a CS possui de retornar ao seu estado natural, após sofrer algum tipo de distorção provocada pelo mercado consumidor ou ambiente. Por exemplo, atraso nas entregas, problemas nas matérias-primas, greves e paralisações inesperadas, efeitos da natureza, medidas governamentais entre outras. No ponto de vista de Souza, Micheluzzi e Pereira (2017) o conceito de resiliência não é tão novo e inicialmente tinha o cunho para a gestão de negócios em meados dos anos 2000. De uma forma clássica foi apresentada uma definição:

a resiliência pode ser definida como a habilidade da cadeia de suprimentos em se preparar para eventos de riscos inesperados, além de responder e se recuperar rapidamente destas rupturas de modo a retornar ao seu desempenho operacional atual ou atingir um estado melhor (financeiro e econômico) a partir do despreparo dos seus concorrentes (SOUZA; MICHELUZZI; PEREIRA, 2017, P. 490).

Portanto, convém salientar que a resiliência de uma CS pode ser entendida como a capacidade que uma determinada organização possui de passar por uma perturbação, seja ela no sentido físico ou de informação referente aos seus produtos e retornar ao seu estado original, ou o mais próximo disso, fazendo com que o cliente seja

minimamente afetado Costa, Silva e Pereira (2015). Outro ponto que tem se destacado como ferramenta fundamental para garantir a resiliência e eficiência das cadeias de suprimentos é o compartilhamento da informação (*Information Sharing*). Que tem sido aplicado em vários estudos acadêmicos nas últimas décadas, e bons resultados têm sido obtidos como a redução das incertezas da demanda através dos elos (*Bullwhip Effect*) ou as atenuações dos picos indesejáveis de demanda (*Shock Lens*) que ocorrem em determinadas CS (CANNELLA; BRUCCOLERI; FRAMINAN, 2016; CANNELLA et al. 2017)

No presente trabalho serão aprofundados estudos baseados nas topologias de Cadeias de Suprimentos, tais como: tradicional, fluxo reverso, divergente e seu caso específico denominado de arborescente. Analisando-as por meio dos conceitos de redes complexas.

2 METODOLOGIA

Em um primeiro momento a metodologia de pesquisa utiliza puramente o contexto da pesquisa básica estratégica, cujo objetivo é produzir um conhecimento útil, iniciando por meio de um referencial bibliográfico em destaque na literatura acadêmica Rother (2007). A partir deste ponto, consolida-se um estudo prático para obtenção das diretrizes futuras. Em um segundo momento a pesquisa exploratória faz-se necessária com base em estudos de casos. Neste nível, a pesquisa é realizada através de estudos bibliográficos (para explicar o fenômeno a partir de referências teóricas publicadas em artigos, analisando as contribuições científicas do passado e presente sobre o assunto) (CONTANDRIOPOULOS et al., 1999; RUDIO, 2000; GIL, 2002). O software *R* é utilizado para análise das estruturas (topologias) das Cadeias de Suprimentos (CS) e definir quais são as métricas mais adequadas para a descoberta de fenômenos. Para isto, será necessário definir inicialmente objetivos e obter informações adicionais sobre o assunto. Uma topologia de cadeia de suprimentos é então escolhida dentre as fornecidas (tradicional, fluxo reverso, divergente e arborescente), tendo como regra de decisão o maior valor para a métrica do fator de divergência. Posteriormente, a CS escolhida é mensurada através das métricas de desempenho (vértices, arestas, grau, densidade, diâmetro, distância, assortatividade, desassortatividade) sob os conceitos de redes complexas para isto, utiliza-se o software *R*. Um ambiente de simulação é então construído para validar a metodologia proposta. O que se pretende é investigar as principais conexões e participantes da Cadeia de Suprimentos que a tornam resiliente e eficiente.

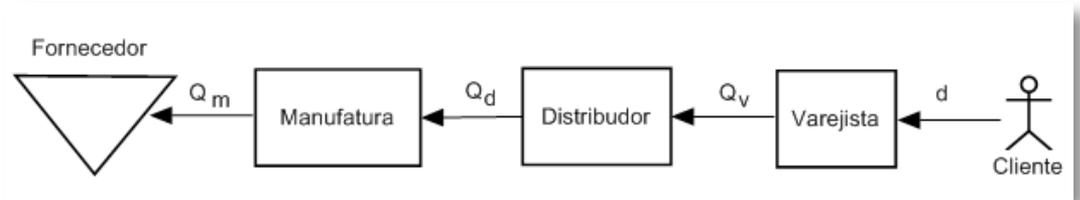
3 TOPOLOGIAS DAS CADEIAS DE SUPRIMENTOS

Neste capítulo destacam-se as topologias das cadeias colaborativas com as estruturas tradicionais e como as informações são compartilhadas parcialmente ou totalmente, as topologias divergentes e o seu caso particular arborescente, além da estrutura reciclável.

Em uma visão simples, colaboração refere-se aos esforços compartilhados feitos pelos membros para alcançar um objetivo comum que é a eliminação da ineficiência. Isto representa que cada membro da CS (elo ou nível) é responsável por transformar soluções individuais em solução abrangente através do esforço comum. A visibilidade do fluxo de informações é o principal facilitador da coordenação dos membros Seifert (2003), Holweg et al. (2005). As configurações da Cadeia de Suprimentos identificadas são:

1. Cadeia de Suprimentos tradicional (sem colaboração): cada nível da cadeia de suprimentos emite ordens de produção independente (baseada nos pedidos dos clientes (Q_m , Q_d , Q_v e d)) e reabastece o estoque sem considerar a situação nos níveis à montante ou à jusante da cadeia, é uma Cadeia de Suprimentos descentralizada. A FIG. 1 ilustra a Cadeia de Suprimentos Tradicional.

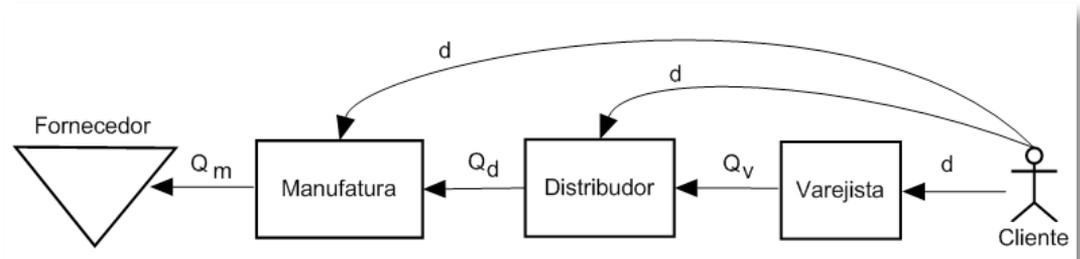
FIGURA 1 – Cadeia de suprimentos tradicional



FONTE: Os autores (2019)

2. Intercâmbio ou troca de informações (planejamento da colaboração): A solicitação de reposição de produtos feita ao fornecedor é independente, tendo como base a demanda de mercado atualizada. O planejamento de capacidade e ajuste nos estoques é baseado na demanda de mercado e nas ordens solicitadas. A FIG. 2 ilustra a Cadeia de Suprimentos compartilhada através da informação da demanda de mercado.

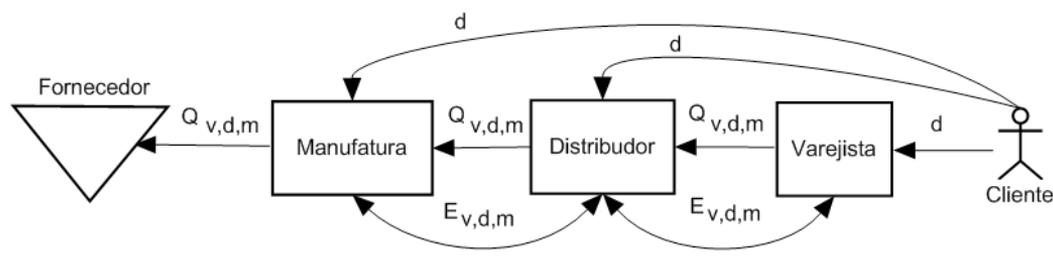
FIGURA 2 – Cadeia de suprimentos com troca de Informações através da demanda de mercado.



FONTE: Os autores (2019)

3. Fornecimento sincronizado (colaboração de inventário e planejamento): o fornecedor tem a responsabilidade de fazer a reposição do estoque do cliente ($E_{v,d,m}$) e usa essa visibilidade no planejamento de sua própria operação de fornecimento ($Q_{v,d,m}$). O planejamento centralizado de distribuição da produção é gerado conjuntamente para toda a Cadeia de Suprimentos. Um plano centralizado de distribuição da produção é gerado conjuntamente pela cadeia de suprimentos considerando a visibilidade completa das operações de cada elo ou nível. A FIG. 3 ilustra o fornecimento sincronizado.

FIGURA 3 – Cadeia de suprimentos com fornecimento sincronizado.

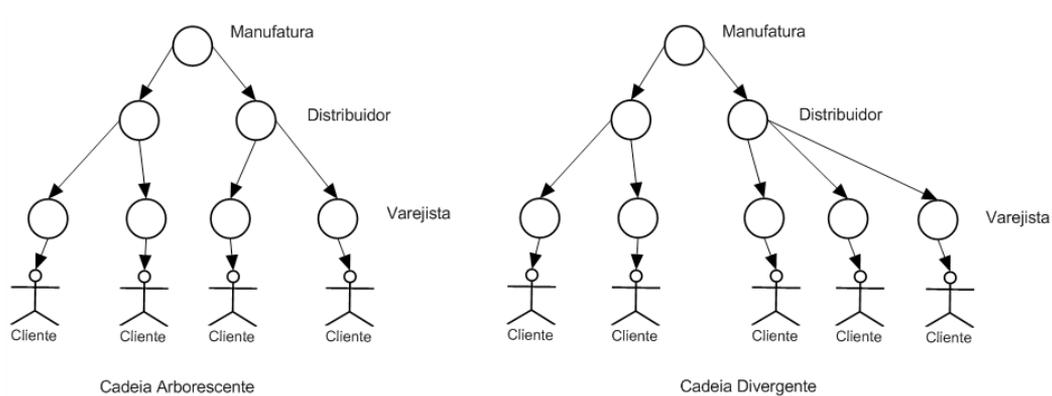


FONTE: Os autores (2019)

Além do ponto de vista de colaboração como discutido anteriormente. As topografias de redes nas Cadeias de Suprimentos também são identificadas através de estruturas denominadas de *Supply Chain Network (SCN)* que geralmente são analisadas como redes de distribuição de itens ou produtos que podem alcançar uma infinidade de pontos de vendas (varejos) de acordo com os trabalhos de Dominguez, Framinan e Cannella (2014), Dominguez, Cannella e Framinan (2015a). Na FIG. 4 ilustra as topologias Arborescente e Divergente, nota-se que a estrutura arborescente (em árvore) possui somente dois elos por fornecedor e para a estrutura divergente pode-se ter uma infinidade de elos por fornecedor.

A FIG. 4 ilustra as configurações estruturais das SCN Arborescente e Divergente.

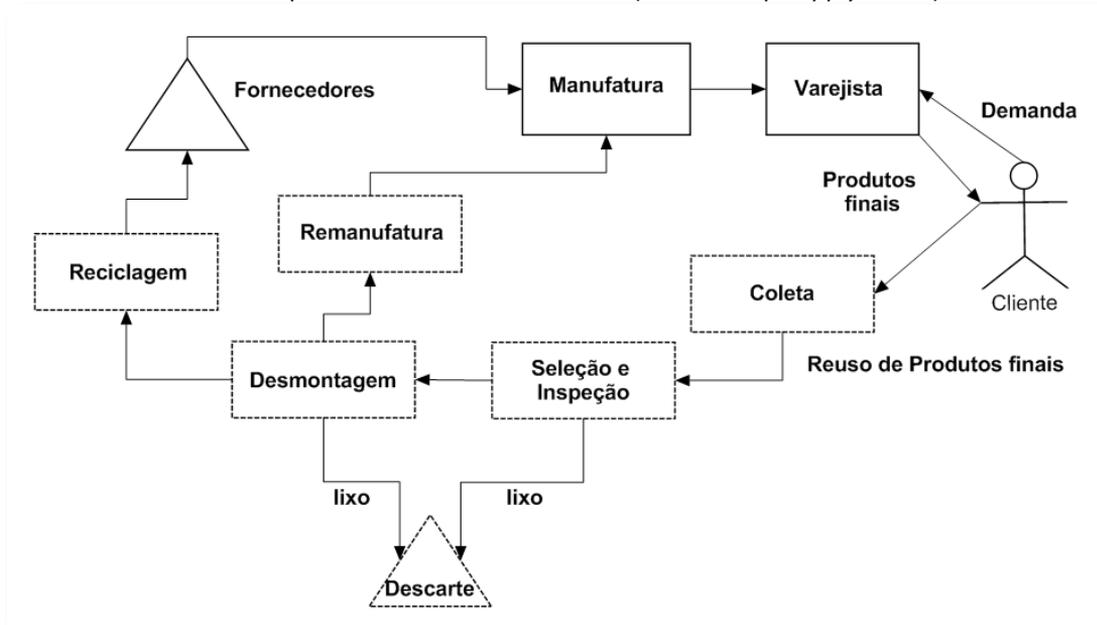
FIGURA 4 – Cadeia de suprimentos Arborescente e Divergente.



FONTE: Os autores (2019)

Por outro lado as topologias recicláveis denominada de Fluxo Reverso (*Closed-Loop Supply Chain*) são caracterizadas pelo reuso ou reaproveitamento de produtos que podem ser descartados. São geralmente constituídas de uma parcela da cadeia tradicional caracterizada através do fluxo de informação e de materiais até o cliente final. E um fluxo de retorno com característica semelhante à topologia tradicional com características de divergência. A FIG. 5 ilustra uma Cadeia de Suprimentos com Fluxo Reverso.

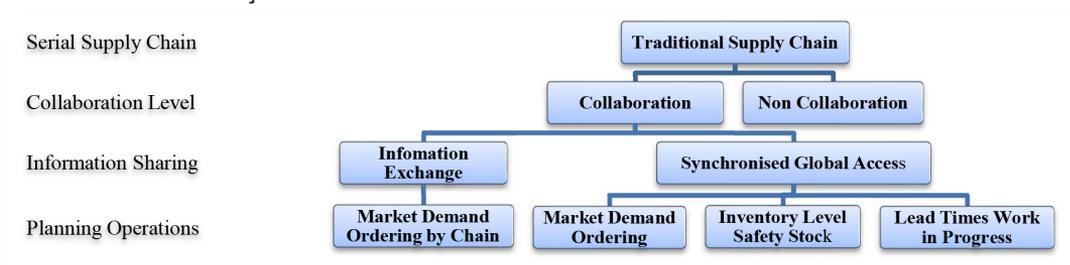
FIGURA 5 – Cadeia de Suprimentos com Fluxo Reverso (*Closed-Loop Supply Chain*)



FONTE: Os autores (2019)

De acordo com as abordagens discutidas nos trabalhos de Seifert (2003), Holweg et al. (2005), Giard, Sali (2013), Dominguez, Framinan e Cannella (2014), Dominguez, Cannella e Framinan (2015a), pode-se classificar as Cadeia de Suprimentos conforme as Figuras 6 e 7. Na FIG. 6 é ilustrada a cadeia de suprimentos tradicional e as suas subdivisões abordando colaboração, informação compartilhada e planejamento de operações.

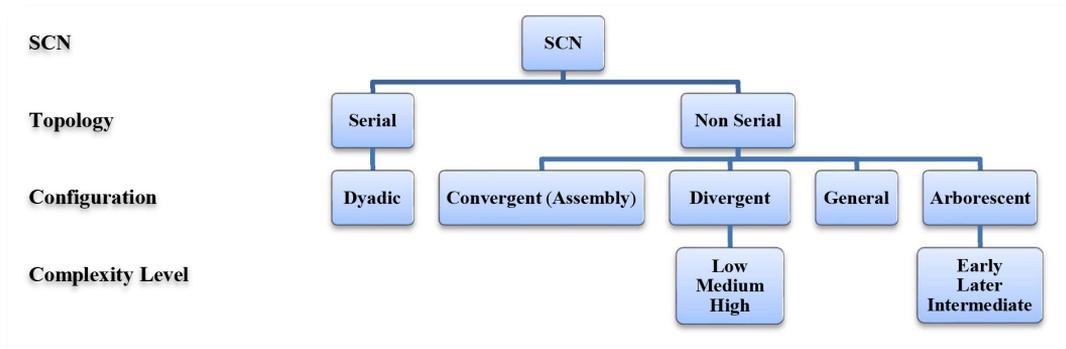
FIGURA 6 – Classificação de acordo com a estrutura tradicional



FONTE: Os autores (2019)

Na FIG. 7 a Cadeia de Suprimentos é ilustrada como uma rede de distribuição (SCN) que pode ser classificada através das subdivisões que abordam as topologias, configurações e nível de complexidade.

FIGURA 7 – Classificação de acordo com a rede de distribuição *Supply Chain Network* (SCN)



FONTE: Os autores (2019)

4 MÉTRICAS DE DESEMPENHO PARA TOPOLOGIAS DAS CADEIAS DE SUPRIMENTOS

As métricas de desempenho têm sido abordadas pela literatura acadêmica nas cinco últimas décadas, com objetivo de dimensionar os impactos operacionais sobre a Cadeia de Suprimentos quando estas estão sujeitas as incertezas do mercado. Mais precisamente são analisados o efeito chicote, os níveis e as variabilidades das ordens de reposição e estoques, e as incertezas do *lead time* (CANNELLA et al. 2017). Entretanto, do ponto de vista estrutural, geralmente utiliza-se o fator de divergência das cadeias de suprimentos como métrica para identificar o grau de complexidade. Deste modo, pode-se traçar um possível arcabouço (objetivo é identificar a estrutura de investigação) para a Cadeia de Suprimentos em análise. No QUADRO 1, é apresentado a notação das variáveis utilizadas. O cálculo do fator de divergência é apresentado na eq. (1).

QUADRO 1 – Notação das métricas do fator de divergência

Variável	Significado
DivF	Fator de divergência da cadeia de suprimentos
E	Número total de níveis da cadeia de suprimentos
N	Número total de nós da cadeia de suprimentos
N_i	Número total de nós por nível <i>i</i> da cadeia de suprimentos

FONTE: Os autores (2019)

$$DivF = \sqrt{\sum_{i=1}^E \frac{(N_i - \frac{N}{E})^2}{(E - 1)}} \cdot (1)$$

Uma análise de identificação estrutural baseada no fator e divergência tem como objetivo quantificar/dimensionar as melhores estruturas. Analisar de forma empírica as possíveis distorções, e fazer especulações sobre o comportamento do modelo quando a cadeia de suprimentos for submetida ao mercado consumidor. Desta maneira pode-se vislumbrar um comportamento futuro e tomar decisões para garantir a redução dos efeitos indesejáveis. Na análise da topologia serão utilizadas quatro Cadeias de Suprimentos composta por quatro níveis produtivos: Manufatura, Distribuidor, Atacadista e Varejista, modelos adaptados das estruturas apresentadas nas Figuras 1, 4 e 5. Na primeira estrutura, utiliza-se uma cadeia tradicional (veja FIG. 1), posteriormente a cadeia divergente e arborescente (veja FIG. 4), e com fluxo reverso (veja FIG. 5) de acordo com a sugestão do trabalho de Dominguez, Cannella e Framinan (2015b). Na TAB. 1 são apresentados os resultados das estruturas analisadas.

TABELA 1 – Métricas do fator de divergência.

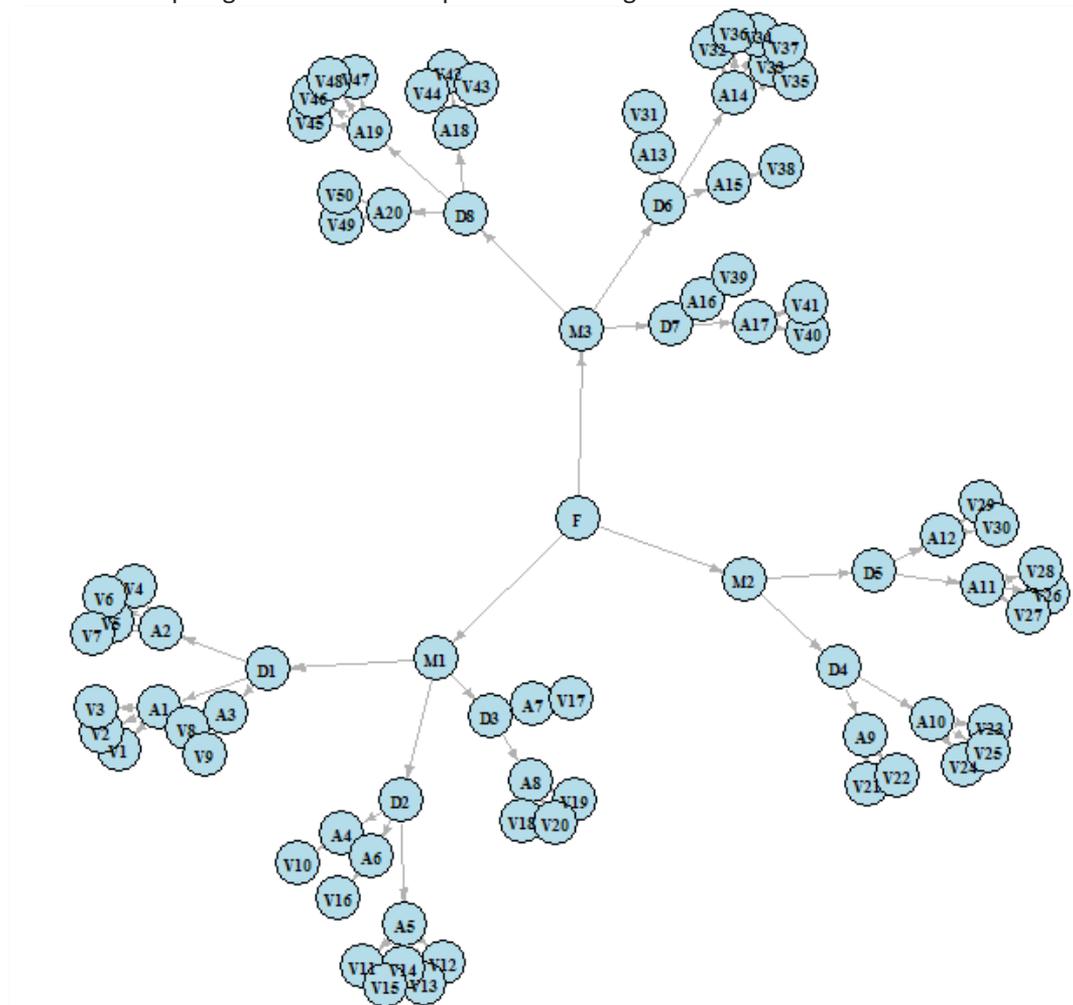
Topologias	DivF	E	N
Tradicional	0,00	4	4
Arborescente	4,58	4	30
Divergente	5,97	4	30
Fluxo Reverso			
Avanço [Manufatura para Cliente]	0,00	4	4
Retorno [Cliente para Manufatura]	0,86	4	4

FONTE: Os autores (2019)

Na TAB. 1, observa-se que as cadeias tradicionais e com fluxo reverso não sofrem forte impacto no fator de divergência devido aos seus participantes. Por outro lado as cadeias arborescentes e divergentes, por ter uma quantidade expressiva de participantes (*players*) por nível da cadeia (*Echelon*) mostram forte impacto no fator de divergência. De acordo com os trabalhos de Dominguez; Cannella e Framinan (2015a,b) um alto valor para o fator de divergência pode causar, acúmulos de demanda o ordens solicitadas para repor os estoques em cada nível da cadeia de suprimentos, podem causar instabilidade nos estoques levando a escassez de produtos, propagação do efeito chicote ao longo da cadeia de suprimentos e reduzir a resiliência e a eficiência. Do ponto de vista de redes complexas as métricas geralmente utilizadas para medir o desempenho são: Grau, Centralidade, Transitividade, Distância, Assortatividade, Densidade, Hubs e

Clusters entre outras (para maiores estudos veja NEWMAN, 2018). Na FIG. 8, mostra-se a topologia (rede complexa) da Cadeia de Suprimentos composta de 82 pontos (01 fornecedor (F), 03 pontos de Manufatura de produtos (M), 08 pontos de distribuição (D), 20 pontos de atacado (A) e 50 pontos de varejo (V) que atende diretamente aos clientes) construída pelo software R. Observa-se que três comunidades (M1, M2, M3) com quantidade de participantes diferentes em cada uma são formadas, não interagem entre si e impactam diretamente de forma não equilibrada no desempenho da Cadeia de Suprimentos Divergente (CSD). Por exemplo, a demanda acumulada por cada fabricante que tem como origem o distribuidor pode gerar uma instabilidade nas ordens e estoques, devido ao tempo de chegada dos pedidos serem diferentes de acordo com o trabalho de (CANNELLA et al. 2017).

FIGURA 8 – Topologia da Cadeia de suprimentos divergente



FONTE: Os autores (2020)

5 SIMULAÇÃO

Inicialmente a Cadeia de Suprimentos Divergente (CSD) apresentada na FIG. 8 é modelada considerando que todas as conexões possuem o mesmo valor unitário e mantém o fluxo de produtos na seguinte ordem: Fornecedor (F) → Produção (P) → Distribuidor (D) → Atacadista (A) → Varejista (V). Observa-se que a cadeia de suprimentos divergente apresenta fator de $DivF = 21,08$. Na TAB. 2 apresentam-se as métricas obtidas pela análise do software R os resultados obtidos mostram que cada participante está conectado a outros 1,97 participantes, através da métrica grau médio, a densidade com valor próximo de zero mostra que a rede não é altamente conectada, por exemplo, como uma rede de internet, a assortatividade mostra que as entradas de novos participantes da rede tendem a se conectar com participantes que tenham afinidades, por outro lado a desassortatividade, mostra que a possibilidade de novos participantes da rede se conectar a participante que não tenham afinidade é pouco provável, mas não impossível de ocorrer. Apresenta diâmetro 4 que representa a maior distância entre o fornecedor e o varejista caracterizando a quantidade de níveis da CSD, com uma distância média entre os participantes de 2,319, ou seja, cada participante em média está posicionado a pelo menos dois níveis da CSD.

TABELA 2 – Métricas da Rede Complexa.

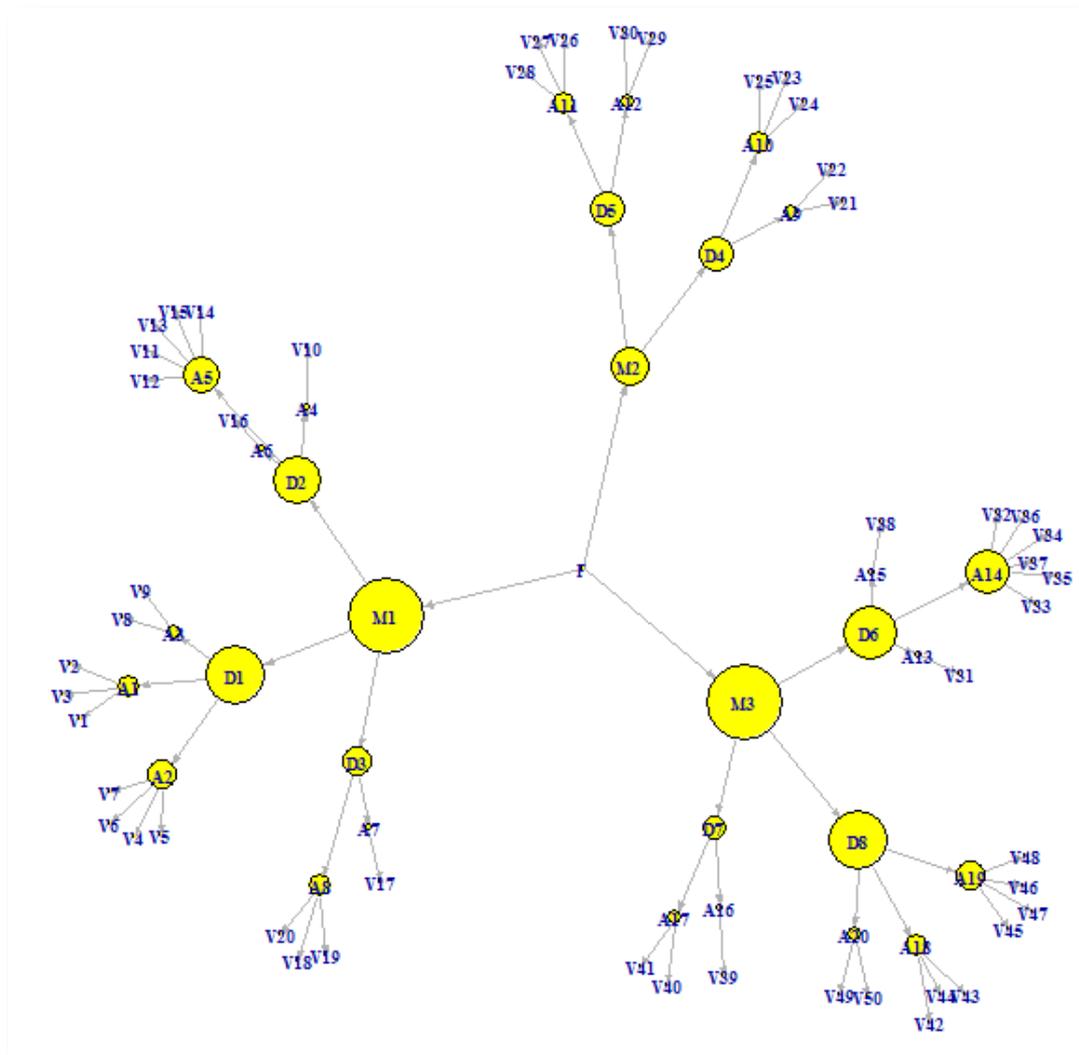
Redes Complexas		
Métricas	Valores	Descrição
Vértices	82	Números de participantes da rede
Arestas	81	Número de conexões dos participantes da rede
Grau Médio	1,97	Número médio de conexões entre os participantes da rede
Densidade	0,0122	Aglomerção média dos participantes da rede
Diâmetro	4	Distância entre o fornecedor e os participantes extremos
Distância	2,319	Distância média entre os participantes
Assortatividade	0,9988	A tendência de associação entre participantes similares
Desassortatividade	-0,0120	A tendência de associação com participantes diferentes

FONTE: Os autores (2020)

Na FIG. 9 é apresentado o gráfico de intermediação (medida de centralidade da rede) que mostra o grau de importância de um participante em relação aos outros participantes. Através do conjunto de todos os caminhos mais curtos entre os participantes da rede que é denominado de (*Betweenness Centrality*). Pode ser considerada com uma medida de resiliência da rede e também mostra que se um

participante se desconectar da rede o quão serão mais longas as distâncias entre os participantes da rede. Os participantes M1, M3, D1, D6 e D8 destacam-se através de seus tamanhos (influência) em relação aos demais participantes da rede, ou seja, podem ser interpretadas como pontos de alto nível de resiliência na rede, caracterizando rápida absorção de variações da rede e retorno as suas condições de operação em tempo reduzido. Entretanto, para os pontos menores pode-se interpretar como uma capacidade muito reduzida de retornar ao nível inicial (levar um tempo muito longo ou talvez não consiga retornar as condições iniciais) de operação após sofrer qualquer ação externa.

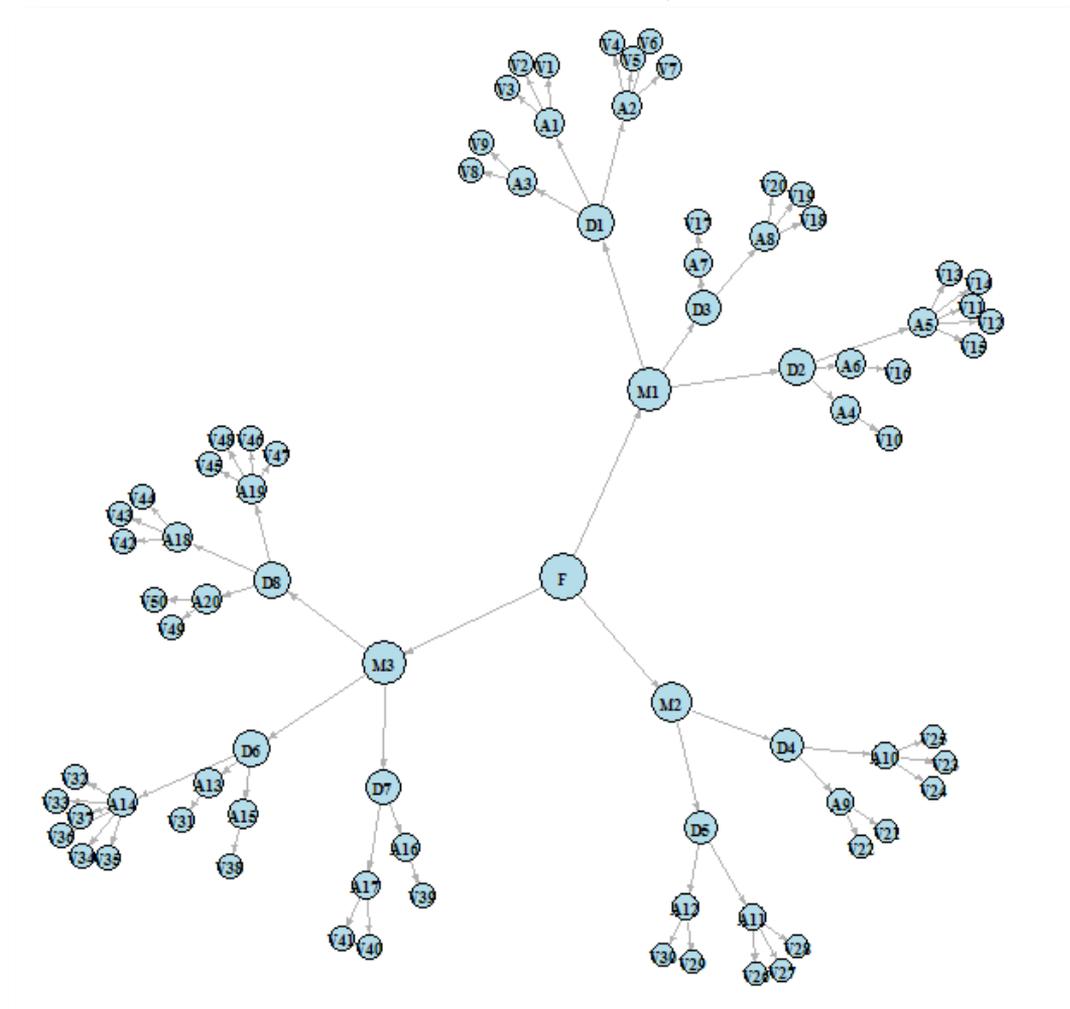
FIGURA 9 – Métrica de Centralidade (Betweenness Centrality)



FONTE: Os autores (2020)

Na FIG. 10 é apresentada outra medida de intermediação que mostra a relação dos participantes da rede através da distância mínima entre os participantes, ou seja, representa o quão distante um participante pode estar dos demais, é denominada de (*Closeness Centrality*). Pode ser considerada como uma métrica de difusão da informação (quanto tempo a informação leva para se deslocar através da rede) e ser caracterizada como uma medida de eficiência de rede. Os participantes F, M1, M2, M3, D1, D2, D3, D4, D5, D6, D7, D8 destacam-se frente aos outros quando se compara o tamanho (influência) na rede. São os participantes principais que fazem a difusão da informação da cadeia de suprimentos divergente, e são responsáveis por garantir a eficiência da rede.

FIGURA 10 – Métrica de Centralidade (*Closeness Centrality*)



FONTE: Os autores (2020)

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo deste trabalho de pesquisa é identificar e implementar uma política de análise para uma Cadeia de Suprimentos. Tendo como ponto de partida o fator de divergência (veja resultados na TAB. 1) e complementada pela análise de redes complexas de acordo com os resultados obtidos do software R (veja os resultados na TAB. 2).

Inicialmente quatro topologias de cadeias de suprimentos (tradicional, fluxo reverso, divergente e arborescente) foram submetidas à análise do fator de divergência. Cujo objetivo é dimensionar a CS mais adequada para o estudo. Foram identificadas as tendências dos possíveis problemas que podem surgir quando a CS apresenta um fator de divergência alto, tais como: efeito chicote, resiliência, instabilidade nos estoques e nas ordens de reposição, e variabilidade do *lead time* de acordo com os trabalhos de Dominguez, Cannella e Framinan (2015a,b). Posteriormente a topologia escolhida foi à divergente devido ao fator de divergência ser de 5,87, o maior valor (veja a TAB. 1). Então uma modelo estrutural com características divergente, composto de 82 participantes (*players*) e 81 conexões (veja FIG. 8) foi construído. O aumento no número de participantes tem como intuito estudar algum novo fenômeno e que sirva de base para um estudo futuro.

A CSD é submetida ao ambiente de simulação construído no software R para análise da topologia escolhida conforme informações contidas na TAB. 2. Dois gráficos foram gerados durante o processo de simulação, um contendo os participantes que apresentam maior capacidade de resiliência (veja a FIG. 9) e outro que mostra os participantes com maior capacidade de difusão da informação ou eficiência (veja a FIG. 10).

De um modo geral os resultados apresentados pela simulação mostram o comportamento dos principais participantes da rede (*players*) sendo destacados frente aos demais em nível de resiliência e difusão da informação (eficiência), e mensurados através das métricas de centralidade o que valida à proposta do trabalho. Para um aprimoramento do estudo, sugerem-se novas investigações abordando Cadeias de Suprimentos Dinâmicas com alto grau de complexidade.

REFERÊNCIAS

- ALVARENGA, M. Z.; SANTOS, W. R.; PELISSARI, A. S. O relacionamento colaborativo e os sistemas e tecnologias de informação impactam a resiliência das cadeias de suprimentos. **Espacios**, Caracas, v. 38, n. 1, p. 3-21, 2017.
- AMBULKAR, S.; BLACKHURST, J.; GRAWE, S. Firm's resilience to supply chain disruptions: Scale development and empirical examination. **Journal of Operations Management**, v. 33-34, p. 111-122, January, 2015.
- ANNARELLI, A.; NONINO, F. Strategic and operational management of organizational resilience: Current state of research and future directions. **Omega**, v. 62, p. 1-18, July. 2016.
- 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, May. 2016.
- _____. et al. Modelling and Simulation in Operations and Complex Supply Chains. **Mathematical Problems in Engineering**, v. 2017, Jan. 2017.
- CONTANDRIOPOULOS, A. P. et al. **Saber preparar uma pesquisa: definição, estrutura e financiamento**, 3. ed. São Paulo: Hucitec Abrasco, 1999.
- COSTA, F. H. O.; SILVA, A. L.; PERREIRA, C. R. Facilitadores à resiliência na cadeia de suprimentos: uma revisão sistemática de literatura. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO (ENEGEP), 35., 2015, Fortaleza. **Anais ABEPRO**. Rio de Janeiro, 2015.
- 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, Jan. 2015a.
- _____.; _____.; FRAMINAN, J. M. The impact of the supply chain structure on bullwhip effect. **Applied Mathematical Modelling**, v. 39, n. 23-24, p. 7309-7325, Dec. 2015b.
- _____.; FRAMINAN, J. M.; CANNELLA, S. Serial vs. divergent supply chain networks: a comparative analysis of the bullwhip effect. **International Journal of Production Research**, v. 52, n. 7, p. 2194-2210, Apr. 2014.
- EASLEY, D. et al. **Networks, crowds, and markets**. Cambridge: Cambridge University, 2010.
- GIARD, V.; SALI, M. The bullwhip effect in supply chains: A study of contingent and incomplete literature. **International Journal of Production Research**, v. 51, n. 13, p. 3880-3893, July 2013.
- GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa científica**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.
- HEARNSHAW, E. J. S.; WILSON, M. M. J. A complex network approach to supply chain network theory. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 33, n. 4, p. 442-469, Mar. 2013.
- HOLWEG, Matthias et al. Supply chain collaboration: Making sense of the strategy continuum. **European management journal**, v. 23, n. 2, p. 170-181, Apr. 2005.
- NEWMAN, M. **Networks: an introduction**. Oxford: Oxford University, 2018.
- ROTHER, E. T. Revisão sistemática X revisão narrativa. **Acta paulista de enfermagem**, São Paulo, v. 20, n. 2, p. 5-v6, abr./jun. 2007.
- SEIFERT, D. **Collaborative planning, forecasting, and replenishment: how to create a supply chain advantage**. New York: AMACOM, 2003.
- SOUZA, M. R.; MICHELUZZI, J.; PEREIRA, C. R. Cadeia de suprimentos resiliente: uma revisão sistemática de literatura. In: OS DESAFIOS NA GESTÃO DA QUALIDADE, COMPETITIVIDADE E INOVAÇÃO TECNOLÓGICA, 5., 2017, Joinville. **Anais SIMEP**. Joinville, 2017.