

**MENSURAÇÃO DE DESEMPENHO DE CADEIAS DE SUPRIMENTOS EM TRÊS DIMENSÕES:
EFICIÊNCIA, EFICÁCIA E ECOLOGIA**

LUIZ EDUARDO SIMÃO
UNIVERSIDADE DO VALE DO ITAJAÍ

MENSURAÇÃO DE DESEMPENHO DE CADEIAS DE SUPRIMENTOS EM TRÊS DIMENSÕES: EFICIÊNCIA, EFICÁCIA E ECOLOGIA

RESUMO

A mensuração do desempenho é uma etapa crítica de sucesso do projeto e gestão das cadeias de suprimentos. Entretanto, apesar do desenvolvimento e progresso que se tem alcançado nos últimos anos, os sistemas e modelos para mensuração do desempenho de cadeias de suprimentos continuam focando em perspectivas e processos específicos da cadeia e em medidas financeiras e não financeiras, apesar de as organizações estarem sobre intensa pressão para gerenciar suas cadeias de suprimentos de maneira mais correta com relação ao aspecto ambiental. O objetivo deste artigo é apresentar o modelo “triplo E” desenvolvido para medir o desempenho de cadeias de suprimentos em três dimensões - eficiência, eficácia e ecologia, de forma simultânea. Para demonstrar a aplicação do modelo foi utilizada a metodologia de simulação a eventos discretos, aplicada na forma de um estudo de caso único em uma empresa fabricante de motores elétricos do Brasil. Ao final, o modelo de simulação permitiu a análise quantitativa do desempenho considerando de forma simultânea, medidas de desempenho relacionados aos custos de estoque, aos prazos de entrega dos pedidos dos clientes, e, também, à emissão de dióxido de carbono (CO₂) do processo de transporte da cadeia de suprimentos analisada.

Palavras-Chaves: Cadeias de suprimentos, mensuração do desempenho, simulação.

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, a agregação de valor acontece cada vez mais dentro de estruturas de cadeias de suprimentos, onde vários participantes desempenham tarefas especializadas, sendo os produtos e serviços considerados como um fluxo contínuo desde as fontes de matéria-prima até o consumidor final. Além disso, estas cadeias de suprimentos, tornaram-se cada vez mais globalizadas e complexas, o que torna o seu gerenciamento um grande desafio. Esses fatores, aliados de constantes mudanças e a elevada competitividade do mercado, têm exigido das organizações decisões acertadas no planejamento e na execução das cadeias de suprimentos de forma a responder rapidamente a essas variações da demanda e as constantes mudanças de preferências dos clientes. Isto tem refletido num aumento substancial nos níveis de exigência de desempenho na manufatura e também na logística, de forma mais precisa e rápida, pois, a competição agora é entre as cadeias de suprimentos e não mais entre empresas isoladas (CHRISTOPHER, 2005).

Nesse contexto, a mensuração de desempenho dessas cadeias de suprimentos é uma etapa crítica para o seu projeto e gestão (BEAMON, 1998), pois a medição e as métricas de desempenho têm um papel importante a desempenhar na definição de objetivos, na avaliação de desempenho e na determinação de futuros cursos de ações (GUNASEKARAN, PATEL e MCGAUGHEY, 2004).

Entretanto, apesar da importância da mensuração de desempenho para o projeto e gestão de cadeias de suprimentos e do desenvolvimento e progresso que se tem alcançado nos últimos anos, os modelos para mensuração do desempenho de cadeias de suprimentos existentes continuam focando apenas em algumas etapas específicas dos processos e usando custos e no serviço ao cliente para medir o seu desempenho, apesar de as organizações estarem sobre

intensa pressão para gerenciar suas cadeias de suprimentos de maneira mais correta com relação ao aspecto ambiental. Dessa forma, o problema de pesquisa a ser respondido nessa pesquisa é: como medir o desempenho de uma cadeia de suprimentos de forma integrada, incluindo o seu aspecto ecológico? Para responder ao problema de pesquisa, o objetivo deste artigo é apresentar o modelo triplo E para medir o desempenho de cadeias de suprimentos a partir de três dimensões - eficiência, eficácia e ecologia, de forma simultânea, usando a abordagem de simulação de eventos discretos. Nesse sentido, segundo Mishra et al. (2018), a sua revisão da literatura sugere que existem estudos muito limitados que usam modelos matemáticos e de simulação adequados para modelagem e análise de sistemas de mensuração de desempenho de cadeia de suprimentos.

Assim, esse artigo está estruturado da seguinte forma: na próxima seção a literatura acadêmica relacionada ao tópico sistema de medição de desempenho de cadeias de suprimentos é apresentada e discutida. Em seguida, as etapas metodológicas baseadas em revisão bibliográfica e simulação usadas na realização do artigo são apresentadas. Na próxima seção, a cadeia de suprimentos objeto de análise e os seus dados de entrada são detalhados, além de o modelo de simulação de eventos discretos desenvolvido e o modelo triplo E para mensuração do desempenho de cadeias de suprimentos é apresentado. Em seguida, os resultados da simulação são analisados e discutidos. Por fim, são apresentadas as limitações e conclusões sobre o sistema de medição de desempenho da cadeia de suprimentos utilizado.

2. REVISÃO TEÓRICA

Esta seção resume as pesquisas relacionadas à medição de desempenho nas cadeias de suprimentos.

2.1. A importância das Cadeias de Suprimentos

Uma cadeia de suprimentos “engloba todos os estágios envolvidos, direta ou indiretamente, no atendimento de um pedido de um cliente” (CHOPRA e MEINDEL, 2006). De forma geral, a cadeia de suprimentos de uma empresa permite a ela mover os produtos desde a fonte de matérias-primas até o ponto final de consumo do produto acabado. Para fazer isso, a cadeia de suprimentos é formada por um conjunto de vários fornecedores, plantas, armazéns e os fluxo de materiais, informações e financeiros desde a origem do produto até o cliente final (SIMCHI-LEVI et. al, 2010).

A importância das cadeias de suprimentos tem sido considerada, em parte, pelo reconhecimento de que ela tem influência direta nos custos e no serviço ao cliente (CHOPRA e MEINDEL, 2010; CHRISTOPHER, 2005; ARNDT, 2010), e também pela grande proporção dos custos envolvidos na cadeia de suprimentos total. Consequentemente, a cadeia de suprimentos e sua adequada gestão, geralmente, são consideradas um direcionador chave da lucratividade global de uma empresa (KUHN e HELINGRATH, 2002; SIMCHI-LEVI et. al, 2010; CHRISTOPHER et. al., 2011; CHOPRA e MEINDEL, 2010; MANGAN, LALWANI e BUTCHER, 2010). Com isso, uma parte das empresas já descobriu que o gerenciamento eficaz da cadeia de suprimentos é o próximo passo para aumentar o lucro e a participação no mercado (SIMCHI-LEVI et. al, 2010).

O gerenciamento da cadeia de suprimentos como um conceito, está agora bem estabelecido, e, a sua adoção tem ajudado muitas empresas a ganhar vantagens competitivas (CHRISTOPHER et al., 2011). Existem vários exemplos de empresas que alcançaram a excelência no gerenciamento de suas cadeias de suprimentos como: Unilever, Inditex, Cisco System, Intek Nike, Coca-Cola, entre outras. (GARTNER, 2018). O que essas empresas têm em comum é

que todas entenderam o valor do gerenciamento da cadeia de suprimentos para o seu negócio. Nesse sentido, Christopher (2005) ensina que o valor para o cliente é criado quando as percepções dos benefícios recebidos em uma transação superam os custos totais de propriedade. Além de entender que o objetivo primário de toda cadeia de suprimentos é atender as necessidades dos clientes (CHOPRA e MEINDEL, 2010), do ponto de vista da empresa, a gestão da cadeia de suprimentos tenta maximiza a sua lucratividade. Por isso, os seus processos precisam ser controlados através da mensuração e monitoramento de forma a permitir a avaliação do seu desempenho.

2.2 Mensuração do Desempenho para Cadeias de Suprimentos

As fronteiras tradicionais da empresa estão mudando à medida que as empresas descobrem novas formas de trabalhar em conjunto para alcançar o máximo objetivo da cadeia de suprimentos: a capacidade para atender aos pedidos dos clientes mais rápido, com mais qualidade e de forma mais eficiente do que a concorrência. Para atingir esse objetivo, as empresas precisam de um sistema de mensuração de desempenho para monitorar melhorias de desempenho da cadeia de suprimentos de forma global. Nesse sentido, os sistemas de mensuração de desempenho são considerados uma das competências importantes para um desempenho classe mundial (GLOBAL LOGISTICS RESEARCH TEAM, 1995). Porém, os sistemas de mensuração de desempenho devem mostrar, não só o quanto bem você está fornecendo os seus produtos e serviços para os seus clientes (métricas de serviço ao cliente), mas também como você está lidando seu negócio (métricas de velocidade, ativo, inventário e financeiras). Contudo, agora a empresa deve fazer isso sem agredir o meio ambiente (métricas ecológicas). Assim, atualmente, um sistema de mensuração de desempenho de cadeias de suprimentos de alto desempenho deve mostrar também o seu desempenho ecológico (Emissão CO₂, consumo de energia, consumo de água, emissão de resíduos, etc.). Nesse contexto, desenvolver um modelo de mensuração de desempenho sólido é uma tarefa crítica para uma cadeia de suprimentos e seus membros, pois permite examinar seu desempenho atual e identificar oportunidades de melhoria para direcionar sua direção futura (LIN e LI, 2010).

Um sistema de mensuração de desempenho é um conjunto de métricas usadas para quantificar a eficiência e a eficácia de ações (NEELY et al., 1995; 2001), visando apoiar a implementação de estratégias em vários níveis (KAPLAN e NORTON, 1996). Já um sistema de mensuração do desempenho para cadeias de suprimentos pode ser definido como um conjunto de métricas utilizadas para quantificar a eficiência e eficácia dos processos e relacionamentos em cadeia de suprimentos, abrangendo múltiplas funções e várias empresas de forma a permitir orquestração da cadeia de suprimentos (MAESTRINI et al., 2017).

Um sistema de mensuração de desempenho de cadeias de suprimentos tem muitos usos, incluindo a determinação da eficiência e eficácia de um sistema existente ou para comparar sistemas alternativos, sendo que a medição do desempenho é normalmente usada para projetar, planejar, implementar e monitorar os sistemas propostos (HERVANI, HELMS e SARKIS, 2005). Assim, segundo Chan (2003), a medição do desempenho atua como um *feedback* sobre as atividades relacionadas às expectativas e objetivos estratégicos do cliente, proporcionando assim uma maneira de melhorar as áreas onde o desempenho não é satisfatório.

De forma geral, a adoção de sistemas de mensuração de desempenho em cadeias de suprimentos deve responder a questões básicas como: (1) quais aspectos medir; (2) como medir tais aspectos; e (3) como utilizar estas medidas para analisar, melhorar e controlar o desempenho da cadeia de suprimentos (BEAMON, 1998). Para isso, um sistema de mensuração de desempenho para cadeias de suprimentos deve utilizar uma abordagem

integrada e possuir três elementos chave: (1) as métricas; (2) o alinhamento dos métodos de mensuração do desempenho através da cadeia de suprimentos; e (3) o desenvolvimento de um sistema de mensuração do desempenho (HOLMBERG, 2000). As métricas são as medidas de desempenho (ou indicadores) usadas para quantificar a eficiência e eficácia de uma ação (NEELY et al., 1995). A partir de então, é necessário o alinhamento dos métodos de medição do desempenho através das empresas parceiras da cadeia de suprimentos, e, também o desenvolvimento de um sistema de mensuração de desempenho formado pelo conjunto de métricas usado para quantificar a eficiência e eficácia na sua execução das ações da cadeia de suprimentos com um todo (HOLMBERG, 2000; TANGEN, 2004; BRITO e BRITO, 2012). Contudo, apesar do desenvolvimento e progresso que se tem alcançado nos últimos anos sobre sistemas de mensuração do desempenho de cadeias de suprimentos, no entanto, estudos que realmente investigam a medição de desempenho além dos limites de uma única empresa ainda são limitados (MAESTRINI et al., 2017). A maioria dos trabalhos focaliza ainda o estudo do desempenho intra-organizacional e eles falharam em compreender a ideia de como a cadeia de suprimentos se comportou como um todo (LAMBERT e POHLEN, 2001). Por fim, Homlberg (2000) afirma que os sistemas de mensuração de desempenho estão fragmentados ao longo da cadeia de suprimentos, uma vez que as cadeias de suprimentos não são gerenciadas como um sistema, mas como vários sistemas com medição de desempenho independentes. Segundo Hausman (2003), para resolver isso, é necessário fazer com que todos os parceiros da cadeia de suprimentos reconheçam que seu desempenho é realmente medido pelo cliente final, ou seja, através do desempenho total da rede, e não pelo seu desempenho de unidades de negócios individuais. Por isso, a fim de alcançar a medição de desempenho em toda a cadeia de suprimento, os parceiros da cadeia devem deixar de lado as preocupações sobre informações confidenciais. (HOMLBERG, 2000; LAMBERT e POHLEN, 2001; HAUSMAN, 2003).

Além disso, muitas empresas ainda continuam utilizando apenas métricas financeiras e não financeiras tradicionais para medir o seu desempenho (HOLMBERG, 2000; TANGEN, 2005; BRITO e BRITO, 2012). Importante notar também que muitos dos métodos, estruturas e abordagens para medir o desempenho da cadeia de suprimentos são baseados em métodos existentes, que foram originalmente projetados para serem usados em um nível organizacional e depois estendidos para a cadeia de suprimento (CUTHBERTSON e PIOTROWICZ, 2011). Correspondendo às diferentes estruturas e processos da cadeias de suprimentos e dos seus métodos de classificação, variados tipos de modelos e medidas de desempenho foram propostos na literatura (EPSTEIN e WISNER, 2001; VDI, 2002; GUNASEKARAN et. al, 2004; ARNDT, 2010; WISNER et. al, 2011; SCOR, 2012; MISHRA et. al., 2018).

Houve relativamente poucas tentativas de coletar sistematicamente medidas para avaliar o desempenho das cadeias de suprimentos. Além disso, não há consenso sobre a maneira mais apropriada de categorizá-los. De acordo com Gunasekaran e Kobu (2007) os pesquisadores classificam os sistemas de mensuração de desempenho de cadeias de suprimentos com base em vários critérios, entre eles: Perspectiva do *Balanced Scorecard* (BSC) (financeira, cliente, processo interno de negócios e aprendizagem e crescimento); Componentes de medidas de desempenho (recurso, saída e flexibilidade); Localização das medidas nos links do SC (planejar, fornecer, fazer e entregar); Níveis de tomada de decisão (estratégica, tática e operacional); Natureza das medidas (financeiras e não financeiras); Base de medição (quantitativa e não quantitativa); Medidas tradicionais versus modernas (baseadas em função ou baseadas em valor).

Assim, de forma geral, os sistemas de mensuração do desempenho de cadeias de suprimentos podem ser classificados baseados em três abordagens: (1) perspectivas; (2) processos; e (3) hierarquia (BALFAQIH et al., 2016).

A abordagem de perspectivas dos sistemas de mensuração de cadeia de suprimentos considera uma visão única da cadeia de suprimentos que é baseada na visão do pesquisador (OTTO e KOTZAB, 2003), e, por isso, cada perspectiva tem o seu próprio conceito da cadeia de suprimentos e suas próprias métricas de desempenho.

A segunda abordagem é baseada em processos. Devido às dimensões operacionais significativas do gerenciamento da cadeia de suprimentos, entender as atividades e os processos-chave de uma cadeia de suprimentos é essencial para desenvolver um sistema de mensuração de desempenho eficiente. Pesquisadores e praticantes têm procurado desenvolver novas abordagens que considerem o desempenho dos principais processos operacionais em uma cadeia de suprimentos (BALFAQIH et al., 2016). Diferenciando medidas por processo de negócio é útil, pois identifica medidas que são apropriadas nos níveis estratégico, operacional e tático (SHEPHERD e GÜNTER, 2006).

A abordagem de hierarquia dos sistemas de mensuração de cadeia de suprimentos avalia o desempenho da cadeia de suprimentos através de vários níveis hierárquicos. Analisando a cadeia de suprimentos medidas de desempenho e métricas nos níveis estratégico, tático e operacional ajuda os gestores a tomar as decisões certas. Além disso, permite alcançar os objetivos gerais de uma organização (BALFAQIH et al., 2016).

O quadro 1 resume a classificação das abordagens usadas nos sistemas de mensuração do desempenho de cadeias de suprimentos.

Quadro 1 – Classificação das abordagens usadas nos sistemas de mensuração do desempenho de cadeias de suprimentos

Autor/ano	Perspectiva	Processos	Hierárquica
Holmberg, 2000		x	
Stephens, 2001		x	
Lambert e Pohlen, 2001		x	
Lai et al., 2002		x	
Persson e Olhager, 2002		x	
Chan e Qi, 2003		x	
Chan, 2003		x	
Gunasekaran et al., 2004		x	
Huan et al., 2004		x	
Lockamy e McCormack, 2004		x	
Li et al., 2005		x	
Morgan e Dewhurst, 2008		x	
Berrah e Cliville, 2007		x	
Yeh, Cheng e Chi, 2007		x	
Gulledge and Chavusholu, 2008		x	
Chae, 2009		x	
Li et al., 2009		x	
Thakkar et al., 2009		x	
Lin e Li, 2010		x	
Kocaoğlu et al., 2013		x	
Ganga and Carpinetti, 2011		x	

Fonte: Autor

Quadro 1 – Classificação das abordagens usadas nos sistemas de mensuração do desempenho de cadeias de suprimentos (continuação)

Autor/ano	Perspectiva	Processos	Hierárquica
Mondragon et al., 2011		x	
Olugu et al., 2011		x	
Cho et al., 2012		x	
Najmi and Makui, 2012		x	
Elgazzar et al., 2012		x	
Oliveira et al., 2012		x	
Widyaningrum and Masruroh, 2013		x	
Ganji Jamehshooran et al., 2015		x	
Sellitto et al., 2015		x	
Chia et al., 2009	x		
Hofmann e Locker, 2009	x		
Bhagwat e Sharma, 2009	x		
Foerstl et al., 2010	x		
Bryceson e Slaughter, 2010	x		
Hald e Ellegaard, 2011	x		
Cuthbertson e Piotrowicz, 2011	x		
Stefanović e Stefanović, 2011	x		
Hall e Saygin, 2012	x		
Luzzini et al., 2015	x		
Charkha e Jaju, 2014	x		
Shafiee et al., 2014	x		
Schaltegger e Burritt, 2014	x		
Maestrini et al, 2017	x		
Beamon, 1998	x		
Kannan and Tan, 2002	x		
Bullinger et al., 2002	x		
Simpson et al., 2002	x		
Kleijnen and Smits, 2003	x		
Otto e Kotzab, 2003	x		
Hamprecht et al., 2005	x		
Park et al., 2005	x		
Angerhofer e Angelides, 2006	x		
Aramyan et al, 2007	x		
Giannakis 2007	x		
Morgan, 2007	x		
Bhagwat e Sharma, 2007	x		
Zhou e Benton, 2007	x		
Sharif et al., 2007	x		

Fonte: Autor

Quadro 1 – Classificação das abordagens usadas nos sistemas de mensuração do desempenho de cadeias de suprimentos (continuação)

Autor/ano	Perspectiva	Processos	Hierárquica
Barber, 2008	X		
Cousins, Lawson e Squire, 2008	X		
Cai et al. 2009	X		
Kaplan e Norton, 1996			x
Dreyer, 2000			x
Gunasekaran et al., 2001			x
Brewer e Speh, 2001			x
Gunasekaran, Patel e Tirtiroglu, 2001			x
Chenhall, 2005			x
Yang, 2009			x
Naini, Aliahmadi, Jafari-Eskandar, 2009			x
Gunasekaran et al., 2015			x

Fonte: Autor

Nos últimos anos, várias empresas perceberam os potenciais do gerenciamento da cadeia de suprimentos. Contudo, elas muitas vezes não têm a percepção de quais são as métricas necessárias para alcançar uma cadeia de suprimentos totalmente integrada. Uma visão interessante obtida a partir da revisão de literatura é que a grande maioria dos estudos se concentram sobre o fornecedor ou cliente imediato da cadeia, em vez de englobar vários níveis de mensuração de desempenho de cadeias de suprimentos. É importante notar também que, a maior parte dos trabalhos estão relacionados à sistemas de mensuração do desempenho de cadeias de suprimentos seja sobre a abordagem de perspectivas (32 artigos ou 45,0 %) e a abordagem de processo (30 artigos ou 42,2%) e apenas 9 artigos (12,7%) com a perspectiva hierárquica.

Existe atualmente uma necessidade crescente pela integração de aspectos relacionados com meio ambiente com a pesquisa e prática do gerenciamento da cadeia de suprimentos, haja vista que as organizações estão sobre intensa pressão para gerenciar suas cadeias de suprimentos de maneira mais correta tanto com relação ao aspecto ambiental como no aspecto social (GATTORNA et. al, 2009), conforme alguns exemplos resumidos no Quadro 2. Entretanto, alguns autores apresentam as medidas e métricas de desempenho para cadeias de suprimentos relacionadas, especificamente, aos aspectos ligados exclusivamente ao meio ambiente, sem considerar a sua eficiência econômica, a sua eficácia no atendimento ao cliente. Entretanto, nesses casos, as medidas de desempenho utilizadas também são insuficientes em capturar de forma simultânea os três objetivos de uma cadeia de suprimentos de alto desempenho, uma vez que as métricas utilizadas focam apenas no impacto ambiental das suas operações.

De forma geral, primeiro, a proporção geral das medidas identificadas substancia o argumento oferecido por Beamon (1999) e outros, que permanece um foco desproporcional custo (42%) sobre medidas de não custo, como qualidade (28%), tempo (19%), flexibilidade (10%) e inovação (1%) (SRIVASTAVA, 2007; HASSINI, SURTI e SEARCY, 2012; MAESTRINI et al., 2017; QORRI, MUJKIĆ e KRASLAWSKI, 2018). Segundo, a grande maioria das métricas é quantitativa (82%) e não qualitativa (18%). Assim, como Lambert e Pohlen (2001) observaram, um dos principais problemas com as métricas da cadeia de suprimentos é que elas ainda são focadas na atividade sobre medidas

Quadro 2 – Atributos e indicadores de desempenho para cadeias de suprimentos verdes

Autor	Atributos	Métricas de Desempenho
BEAMON (1999)	Uso de recursos Recolhimento de Produtos (Remanufatura, Reuso, Reciclagem) Características dos produtos Emissão de resíduos e exposição à produtos perigosos e tóxicos	<ul style="list-style-type: none"> • Energia total consumida • Material total consumido (água, aço, etc.) • Tempo requerido para recolhimento dos produtos • Percentual de material reciclável/reusavel • Percentagem de volume de produtos reutilizados/reciclados • Total produtos produzidos • Vida útil de utilização do produto • Total de materiais perigosos e tóxicos usados • Total de resíduos perigosos e tóxicos gerados
EMPSTEIN e WISNER (2001)	Perperctiva Financeira Perspectiva do Cliente Persperctiva do Processo Perspectiva de Aprendizagem e Crescimento	<ul style="list-style-type: none"> • Percentagem de expedição proativa versus reativa • \$ Investimento de Capital • Faturamento de reciclados • Faturamento com produtos verdes • Custos evitados de ações no meio ambiente • N° de produtos verdes • Segurança dos produtos • Recall de produtos • Percentual de reclamações de produtos depois do uso • Percentagen de material reciclado da produção e escritórios • N° de Fornecedores Certificados • Consumo de energia • Emissão de gases do efeito estufa • Percentagem de funcionários treinados • N° de comunidades atendidas • N° de violações relatado pelos funcionários
Green SCOR (2008)	Planejar Suprir Fazer Entregar Retorno Habilitar	<ul style="list-style-type: none"> • Custos de conformidade • Custos de emissão por unidade • % de pedidos recebidos com embalagem correta • % de fornecedores com sistemas de gerenciamento ambiental • Custos de energia como percentual dos custos dos produtos • Resíduos produzidos como percentual de produtos produzidos • Custo de combustível como percentual dos custos de entrega • % de transportadores usando critérios ambientais • Retorno de produtos como percentual de produtos entregues • Retorno de produtos eliminados x remanufaturados • Custos de energia da instalação como percentual do custo total • Paradas devidos a problemas de não conformidade

Fonte: Autor

internas de desempenho e não capturam o desempenho da cadeia de suprimentos como um todo. Terceiro, uma outra grande falha dos sistemas de mensuração de desempenho é que esses sistemas de medição de desempenho também estão fragmentados ao longo da cadeia de suprimentos, uma vez que as cadeias de suprimentos não são gerenciadas como um sistema, mas como vários subsistemas com medição e desempenho independentes. E quarto, outros trabalhos apresentam as medidas e métricas de desempenho para cadeias de suprimentos relacionadas, especificamente, aos aspectos ligados exclusivamente ao meio ambiente, sem considerar a sua eficiência econômica, a sua eficácia no atendimento ao cliente.

Dessa forma, com base em nossa pesquisa, foi identificado apenas um modelo de sistema de mensuração de desempenho de cadeias de suprimentos que consegue capturar os três objetivos de uma cadeia de suprimentos de alto desempenho, qual seja, a sua eficiência econômica, a sua eficácia no atendimento ao cliente e o baixo impacto ambiental das suas operações (SIMÃO, GONÇALVES e RODRIGUEZ, 2016).

Com base no exposto, conclui-se que atualmente a maioria dos sistemas de mensuração de desempenho em vigor são insuficientes em capturar os três objetivos de uma cadeia de suprimentos de alto desempenho - eficiência econômica, eficácia no atendimento ao cliente e o baixo impacto ambiental, de forma simultânea. Além disso, os modelos ainda continuam utilizando apenas métricas financeiras e de serviço ao cliente ou apenas métrica ecológicas de forma separada. Esses sistemas de medição de desempenho também estão fragmentados ao longo da cadeia de suprimentos, uma vez que as cadeias de suprimentos não são gerenciadas como um sistema, mas como vários subsistemas com medição e desempenho independentes.

Contudo, atualmente, os gerentes dessas cadeias de suprimentos devem considerar uma visão das cadeias de suprimentos de alto desempenho em três dimensões - eficiência econômica, eficácia no atendimento ao cliente e o baixo impacto ambiental de forma simultânea.

3. METODOLOGIA

A metodologia de pesquisa utilizada foi dividida em duas partes: (1) revisão bibliográfica; e (2) modelagem de simulação. Na primeira parte foram identificados 307 trabalhos acadêmicos que cobrem a área de medição de desempenho nas cadeias de suprimentos. A revisão de literatura foi limitada a artigos acadêmicos revisados por pares e inclui artigos publicados no período de 1990 até 2018. Para selecionar artigos para a revisão da literatura, o autor incluiu os principais periódicos das disciplinas de pesquisa operacional, gestão de operações e logística, bem como disciplinas interdisciplinares, documentos de campos relacionados, como gerenciamento da cadeia de suprimentos e gerenciamento e medição de desempenho. O autor pesquisou os títulos e resumos dos artigos nas bases de dados do Google Scholar, Scopus e Web of Science, usando como as palavras-chave “*supply chain*”, juntamente com “*measurement*”, “*assessment*”, “*evaluation*”, “*measure*” e “*metrics*”. Após a pesquisa nas bases de dados, o autor usou como critério de seleção dos artigos o título, o resumo e as palavras-chaves. Ao final, apenas 71 artigos revisados foram selecionados e estão relacionados a sistemas de medição projetados para medir uma cadeia de suprimentos.

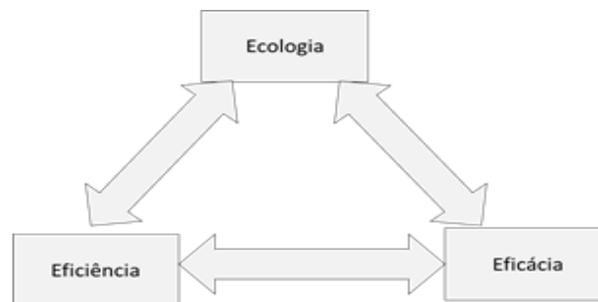
Após a seleção dos artigos, foi identificado apenas um artigo com as características de um sistema de mensuração de desempenho integrado proposto por Simão, Gonçalves e Rodriguez (2016), conforme descrito a seguir.

3.1 Modelo “Triplo E” para mensuração de desempenho de cadeias de suprimentos

Apesar das inúmeras abordagens existentes, elas não permitem a medição e avaliação do desempenho da cadeia de suprimentos como um todo e as métricas não têm uma perspectiva

integrada, ou seja, não são gerenciadas como vários sistemas de medição independentes. Além disso, as abordagens existentes não consideram a eficiência econômica, eficácia no atendimento ao cliente e o baixo impacto ambiental de forma simultânea. Dessa forma, Simão, Gonçalves e Rodriguez (2016) desenvolveram um modelo de mensuração de desempenho mais amplo e integrado, além de um conjunto de métricas de desempenho, a fim de permitir a quantificação de desempenho da cadeia de suprimentos de forma integrada, conforme mostra a Figura 1.

Figura 1 – Modelo para medição e avaliação de desempenho triplo E para cadeias de suprimentos



Fonte: Simão, Gonçalves e Rodriguez, 2016

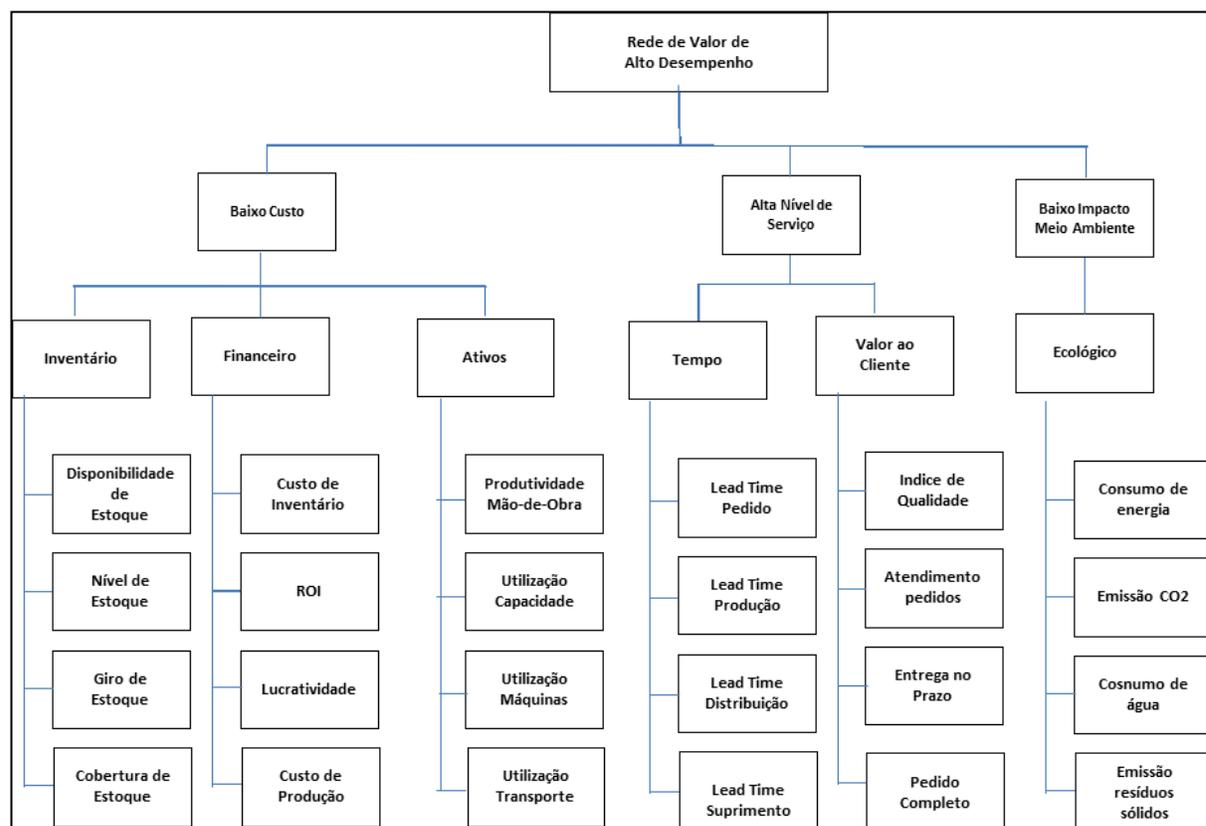
O modelo de desempenho triplo E está baseado, primeiramente, sobre os objetivos em duas dimensões tradicionais da perspectiva de negócios: (1) eficiência - relacionada com a perspectiva de processo (visão interna), onde o foco é no nível de inventário, no desempenho em custos e no desempenho de ativos; e (2) eficácia - relacionada à perspectiva de cliente (visão externa), onde o foco é no valor ao cliente e no tempo dos processos. Entretanto, atualmente, além das duas dimensões tradicionais da perspectiva de negócios, o potencial do impacto ecológico das atividades das cadeias de suprimentos leva a conclusão de que a relação dimensional entre a empresa e seus clientes tem que ser reforçada por uma terceira dimensão (3) ecológica - relacionado com perspectivas ambientais e que medem o desempenho da rede logística em termos de seu impacto ambiental (ex.: consumo de água; emissão de CO₂, etc.).

Dessa forma, um modelo integrado para medição e avaliação de desempenho de cadeias de suprimentos de alto desempenho proposto, conforme ilustrado no Quadro 3. O modelo triplo E foi estruturado em três níveis: (1) Objetivo geral de desempenho; (2) Atributos de desempenho; e (3) Métricas de desempenho. O primeiro nível do modelo apresenta o objetivo geral de desempenho para redes de valor, definido como uma cadeia de suprimentos de alto desempenho. Uma cadeia de suprimentos de alto desempenho tem três objetivos complementares, um relacionado ao alto nível de serviço (eficácia no tempo de entrega), o outro ao baixo custo (eficiência em custos), e um novo objetivo complementar relacionado ao baixo impacto ambiental da cadeia de suprimentos.

No segundo nível do modelo (Quadro 3), foram classificados os atributos de desempenho, para cada um dos três objetivos específicos considerados. Assim, para o objetivo baixo custos, foram selecionados os atributos relacionados com o inventário, com as finanças e com os ativos da cadeia de suprimentos. Já para o atributo relacionado à dimensão do alto nível de serviço, foram considerados os atributos tempo e valor ao cliente. Por último, o atributo relacionado à dimensão baixo impacto ambiental foi considerado o atributo relativo a ecologia.

No último nível do modelo triplo E, para cada um dos atributos, diferentes conjuntos de métricas foram selecionadas (Quadro 3). Assim para o objetivo baixos custos, atributo inventário, foram considerados as seguintes métricas: disponibilidade de estoque, nível de estoque (materiais, semiacabados e acabados), giro de estoques e cobertura de estoque; para o atributo financeiro - custo de estoque, custo de manufatura, custo de transporte e custo de armazenagem. Já para o atributo ativo, as seguintes métricas foram selecionadas: produtividade mão de obra, utilização da capacidade, utilização máquinas e utilização de veículos. Para o objetivo alto desempenho logístico, atributo tempo, os indicadores escolhidos foram: tempo total de pedido; tempo total de manufatura; tempo total de distribuição; tempo total de suprimento.

Quadro 3 – Modelo Triplo E para medição e avaliação de desempenho de redes de valor de alto desempenho



Fonte: Simão, Gonçalves e Rodriguez, 2016

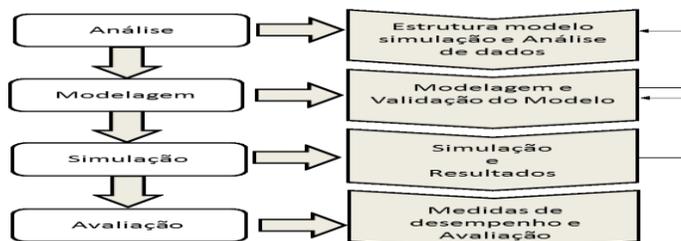
Para o atributo valor ao cliente, foram selecionadas as seguintes métricas: qualidade na entrega; grau de atendimento do pedido, entrega no prazo, flexibilidade de entrega (volume e mix). Finalmente, para o objetivo baixo impacto ambiental, atributo ecologia, alguns indicadores selecionados foram: consumo de energia elétrica, emissão de CO₂, consumo de água, emissão de resíduos sólidos e líquidos.

3.2. Abordagem de simulação

A simulação é definida pela Associação de Engenheiros Alemães (VDI, 2002) como "uma representação de um sistema com seus processos dinâmicos em um modelo experimental para chegar a conclusões que são transferíveis para a realidade." De acordo com Melo et al. (2009),

projeto de cadeias de suprimentos desempenha um papel crítico na competitividade das empresas, não só porque é uma área relevante de investimento de capital, mas também porque é essencial para as empresas para atender às demandas do mercado, fornecendo o nível adequado de serviço ao cliente, e, atualmente, analisar o impacto ambiental. Além disso, Kelton, Sadowski e Sadowski (2002) recomendam o uso de simulação computadorizada como uma maneira de fazer uma avaliação crítica das possibilidades de melhorar o desempenho de sistemas como as cadeias de suprimentos, uma vez que um modelo de simulação fornece um ambiente de laboratório adequado para testar os efeitos de diferentes fatores antes de sua aplicação prática. A Figura 2 mostra a metodologia de simulação utilizada neste trabalho.

Figura 2 – Abordagem metodológica com simulação



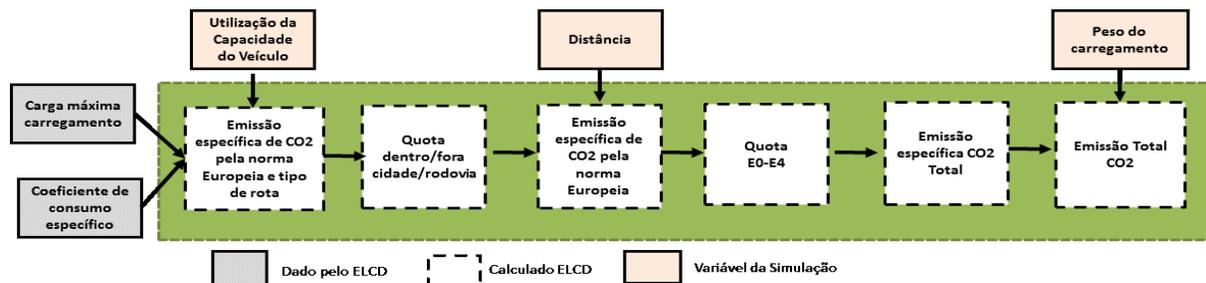
Fonte: Autor

O primeiro passo da abordagem metodológica de simulação começa com a análise da estrutura do sistema e os dados necessários para desenvolver um modelo de simulação. Na segunda etapa, a cadeia de suprimentos analisada foi modelada e verificada. Nesse caso foram realizados duas diferentes validações para garantir que os resultados do modelo são confiáveis. Uma primeira, incluiu a verificação da arquitetura modelo com outros pesquisadores e engenheiros, e comparando a saída dos modelos de simulação de análise para casos dos produtos individuais fabricados. Depois disto, a simulação foi executada e os resultados foram gerados. Na etapa final, os resultados foram avaliados com base em seis medidas de desempenho selecionadas do modelo triplo E.

Como a abordagem metodológica está baseada em simulação, foi utilizado o software de simulação ARENA. O ARENA é um software cujo design é baseado em simulação de eventos discretos e foi utilizado para medir e avaliar o desempenho da cadeia de suprimentos, usando o modelo triplo E. O modelo de simulação serviu para avaliar o impacto sobre quatro atributos de desempenho chaves para qualquer cadeia de suprimentos – tempo, custos, utilização dos ativos e impacto no meio ambiente. O primeiro atributo está relacionado ao tempo, através do ciclo médio de entrega dos pedidos aos clientes, que é medido pelo tempo decorrido entre o recebimento do pedido do cliente e a entrega dos produtos ao mesmo. A segunda medida de desempenho é o custo de estoque (custo de manutenção e custo de falta de estoque) na da cadeia de suprimentos, o que está relacionado com os níveis de estoque nos diferentes estágios da cadeia de suprimentos. A última medida de desempenho está relacionada ao número de transportes realizados entre as instalações e a taxa de utilização dos caminhões. Sendo que esses últimos, foram usados para efetuar o cálculo das emissões de CO₂ no processo de transporte (kg CO₂) através da metodologia ELCD. Os resultados das três primeiras medidas de desempenho foram modelados e obtidos diretamente a partir do simulador ARENA. Contudo, para calcular as emissões de CO₂ dos processos de transporte, foi selecionado como uma referência a base de dados europeia de Ciclo de Vida (ELCD), da Plataforma Europeia sobre a Avaliação do Ciclo de Vida (EPLCA, 2018). As fórmulas do ELCD para o cálculo das emissões dos transportes exigem algumas variáveis de entrada, e dependem dos meios de transporte utilizados e sua relação à utilização da capacidade dos veículos e a distância

percorrida (Comissão Europeia, 2015). A ELCD para este estudo considera que é utilizado para o transporte de produtos da planta para os centros de distribuição, um veículo com peso máximo de 40 toneladas e uma carga máxima de 27 toneladas. A figura 3 mostra as fórmulas do ELCD como é executada as etapas de cálculo envolvendo as variáveis de entrada e o total de emissão de CO₂.

Figura 3 - A fórmula ELCD para o transporte em caminhão; mistura Euro 0,1,2,3,4; 40 t de peso total 27 t de carga útil máxima.



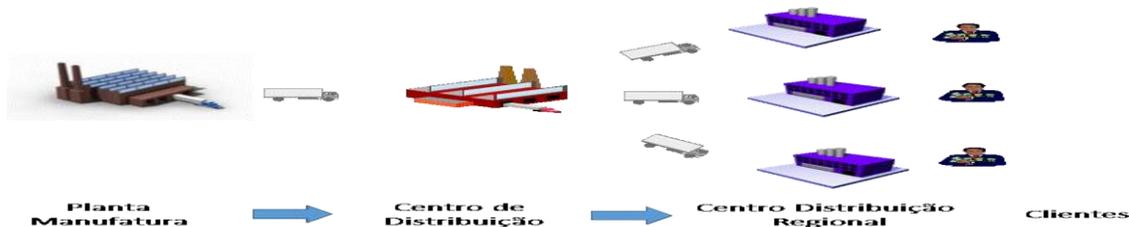
Fonte: EPLCA, 2018

Através da transformação dos conjuntos de cálculo ELCD em fórmulas do Excel (Figura 3), foi possível calcular os resultados ecológicos da cadeia de suprimentos baseado em simulação. Para testar o modelo triplo E para medição e avaliação de desempenho da cadeia de suprimentos, um estudo de caso foi conduzido numa cadeia de suprimentos industrial brasileira, conforme descrito a seguir.

4. ESTUDO DE CASO

O modelo triplo E para medição e avaliação de desempenho da cadeia de suprimentos, foi testado através de um estudo de caso único foi conduzido numa cadeia de suprimentos de uma empresa fabricante de motores elétricos com uma planta de montagem localizada no Brasil, onde são produzidos motores elétricos para o mercado Brasileiro. A planta produz quatro diferentes tipos de produtos acabados (P1, P2, P3 e P4). O sistema de distribuição mostrado na figura 4 é composto por uma fábrica, onde são fabricados quatro tipos de produtos acabados.

Figura 4 – Cadeia de suprimentos de motores elétricos analisada



Fonte: Autor

Após a montagem dos produtos acabados, os mesmos são embalados e enviados para um centro de distribuição central, onde os produtos são armazenados à espera dos pedidos dos três centros de distribuição regionais. O centro de distribuição central recebe e despacha os pedidos para os três centros de distribuição regionais que atendem os clientes em cada mercado. A empresa utiliza o modal de transporte rodoviário em toda a rede de distribuição, com caminhões com capacidade total de 40 t e capacidade de carga máxima de 27 toneladas.

Atualmente, a cadeia de suprimentos atual utiliza uma estratégia de produção e distribuição empurrada, cujo foco é na eficiência em custos. Ainda, diferentes sistemas de medição e avaliação de desempenho são usados e estão fragmentados ao longo da cadeia de suprimentos, e, nesse caso, a empresa não gerencia a cadeia de suprimentos como um sistema único e integrado.

Atualmente, os sistemas de medição e avaliação de desempenho são baseados em várias métricas de desempenho individuais e independentes, e os resultados de desempenho não são compartilhados entre as empresas da cadeia. Por isso, não é possível medir o desempenho real da cadeia de suprimentos como um todo, ou seja, como a cadeia agrega valor para os clientes finais, ou qual é a lucratividade da cadeia e os impactos da operação da cadeia no meio ambiente. Dessa forma, o modelo de desempenho individual utilizado atualmente, não permite mostrar a todas as empresas associadas da cadeia de suprimentos que seu desempenho se mede realmente pelo cliente final, e que o desempenho dos processos da cadeias de suprimentos determinam todos os gastos incorridos (eficiência) pela rede para atender às necessidades do cliente final (eficácia), e fazem isso com baixo impacto no meio ambiente (ecologia).

A demanda dos produtos foi modelada como uniforme (min-máx), os seus custos de manutenção e de falta de estoque utilizados como dados de entradas no modelo de simulação estão resumidos na Tabela 1.

Tabela 1 – Dados dos produtos e custos de estoque

Produto/Estágios	CDR1 (min-máx.)	CDR2 (min-máx.)	CDR3 (min-máx.)	CD (min-máx.)
Motor 1 (unidades)	43-94	43-85	43-72	150-300
Motor 2 (unidades)	33-73	33-67	33-56	100-200
Motor 3 (unidades)	27-60	27-55	27-46	90-200
Motor 4 (unidades)	20-44	20-40	20-33	60-200
Custo Manutenção (R\$/unidade)	R\$ 0,75	R\$ 0,55	R\$ 1,10	R\$ 1,50
Custo Falta (R\$/unidade)	R\$ 21,00	R\$ 12,00	R\$ 10,00	R\$ 7,00

Fonte: Autor

Além dos dados de demanda e custos de estoque, também foram coletados dados de distância de cada canal de distribuição, bem como o tempo de transporte, conforme Tabela 2.

Tabela 2 – Distância e tempos de transporte

Canal	Distância	Tempo de Transporte
Planta -> CD	200 km	2,5 horas
CD -> CDR 1	604 km	7,5 horas
CD -> CDR 2	3.251 km	41,0 horas
CD -> CDR 3	535 km	6,6 horas

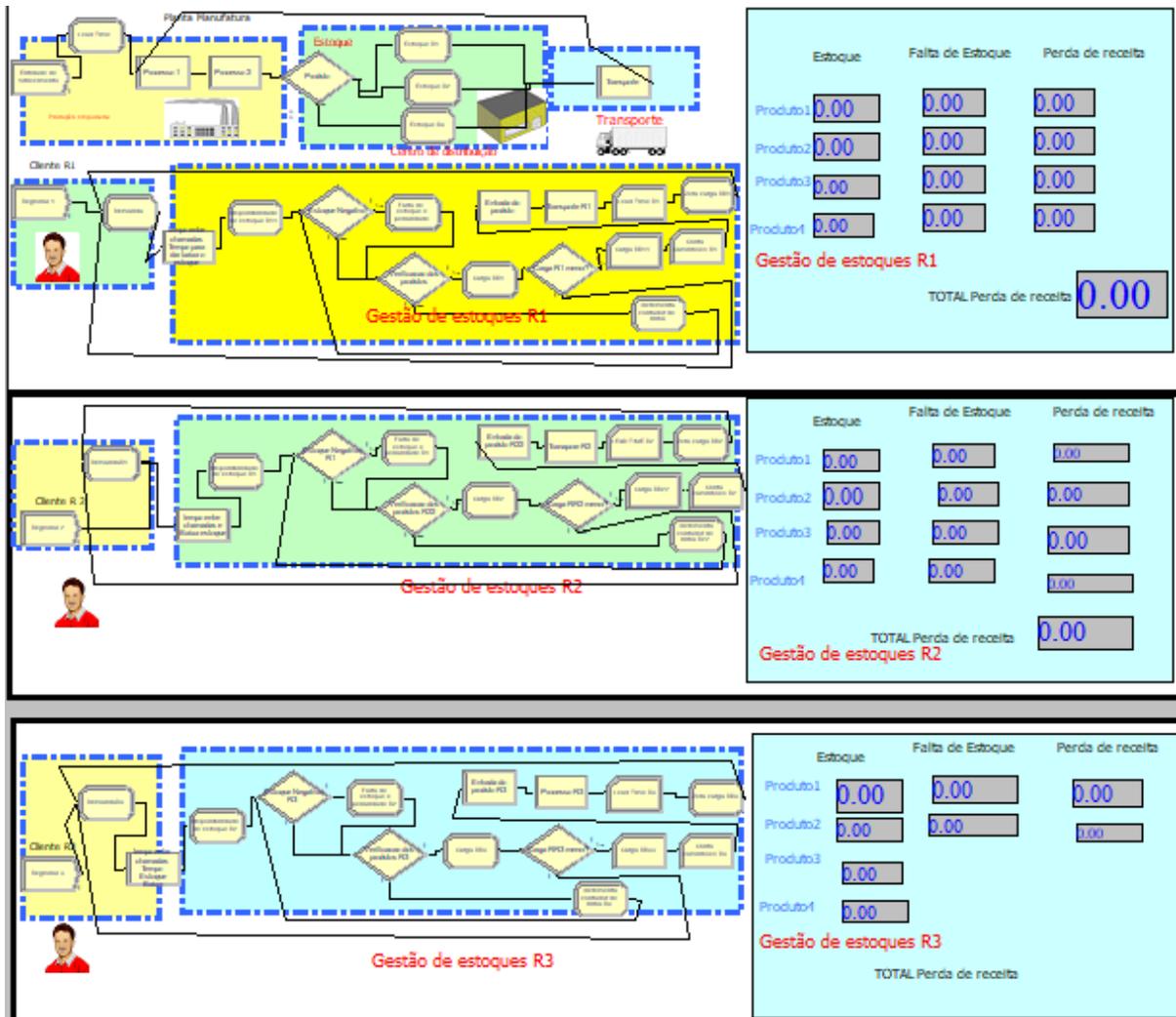
Fonte: Autor

Neste estudo, cadeia de suprimentos analisada foi modelada através da abordagem de simulação de eventos discretos usando ARENA, conforme modelo apresentado na figura 5. Os resultados do experimento de simulação e análise de impacto sobre o desempenho da cadeia de suprimentos (ciclo médio do pedido, nível de serviço, custo de manutenção do estoque, custo da falta de estoque), além do desempenho ecológico (emissões totais de CO₂ no processo de transporte) são apresentados e discutidos na próxima seção.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção são apresentados e discutidos os resultados da simulação usando o modelo triplo E para medição e avaliação de desempenho para cadeia de suprimentos (Quadro 3) na forma do estudo de caso único. Para a medição e avaliação do desempenho relacionado aos três objetivos de desempenho (baixo custo logístico, alto desempenho logístico e baixo impacto ambiental) definidos no modelo triplo E, foram definidas cinco métricas: (1) custos de manutenção de estoque; (2) custos de falta de estoque; (3) tempo do ciclo do pedido; (4) nível de serviço; e (5) emissão dióxido de carbono (CO₂) no processo de transporte (canais de distribuição).

Figura 5 – Modelo de simulação Arena



Fonte: Autor

Os resultados de desempenho do modelo de simulação considerando 20 replicações, um tempo disponível de trabalho 16 horas por dia, por um período de 280 dias (1 ano) da cadeia de suprimentos de motores elétricos é apresentada na Tabela 3. O resultados da Tabela 3 mostram os resultados individuais de cada canal e também o resultado global da cadeia de suprimentos analisada.

Com relação à eficácia da cadeia de suprimentos analisada, os resultados da simulação mostram que desempenho apresenta um alto nível de serviço (*fill rate*) para todos os canais, com 99% para o canal 1, (Planta => CD), 98% para canal 2 (CD=>CDR1), 99% para canal 3

(CD=>CDR3) e 100% para canal 4 (CD=>CDR3). O desempenho da cadeia de suprimentos é de 96% (99% x 98% x 99% x 100%). Isso ocorre, principalmente, devido ao alto nível de estoque na cadeia de suprimentos (R\$ 2.405.069,06).

Os resultados da simulação mostraram também que o ciclo médio do pedido é alto, ou seja, os canais apresentam um tempo de resposta próximo de 35 dias do CD para os CDRs, exceto o da planta de fabricação para o centro de distribuição central que é 11,6 dias. O ciclo total dos pedidos da cadeia é de 116 dias. Os longos ciclos do pedidos também podem ser explicados pela política de maximização da utilização da capacidade de produção (lotes grandes) e da alta utilização da capacidade de carga dos veículos (89%), além do alto nível de estoque existente no canal de distribuição.

Tabela 3 – Resultados dos indicadores de desempenho do modelo de simulação

Canal	Tempo de Espera do Transporte (horas)	Grau de atendimento do Produto (%)	Ciclo médio do pedido (dias)	Nível Médio de Estoque (unidades)	Falta de Estoque (unidades)	Número de Transporte (viagens)	Utilização média da capacidade do caminhão (%)	CO ₂ por Canal (Ton.)
Planta->CD	carregamento 80% completo	99%	11,6	17.580	1092	103	90%	21,673
CD->CDR1	carregamento 80% completo	98%	34,6	5.082	649	40	93%	25,730
CD->CDR2	carregamento 80% completo	99%	35,3	5.201	130	42	89%	146,067
CD->CDR3	carregamento 80% completo	100%	34,5	32.414	0	21	86%	11.626
Total da Cadeia		96%	116	60.277	1.871	206	89%	202,096

Fonte: Autor

O Tabela 3 mostra também o desempenho da cadeia de suprimentos em relação a dimensão eficiência. Os resultados mostram que existe um alto nível de estoque em todos os estágios da cadeia de suprimentos, com um total de estoque na cadeia de 60.277 unidades dos produtos. Isso ocorre devido aos grandes lotes usados para alcançar economias de escala na produção e na distribuição. O alto nível de disponibilidade de estoque tem um impacto direto nos custos de manutenção de estoque. Entretanto, apesar do alto nível de estoque na cadeia de suprimentos, a mesma incorreu em custos devido a falta de estoque de alguns produtos, conforme resumido na Tabela 4.

Tabela 4 – Custos de manutenção e falta de estoque

Estágio	Custos de Manutenção de Estoque	Custos de Falta de Estoque	Custo Total De Estoque
CDR1	R\$ 386.701,21	R\$ 33.600,00	R\$ 420.301,21
CDR2	R\$ 465.806,31	R\$ 6.109,99	R\$ 471.916,30
CDR3	R\$ 598.006,54	R\$ -	R\$ 598.006,54
CD	R\$ 954.555,00	R\$ -	R\$ 954.555,00
Total	R\$ 2.405.069,06	R\$ 39.709,99	R\$ 2.444.779,05

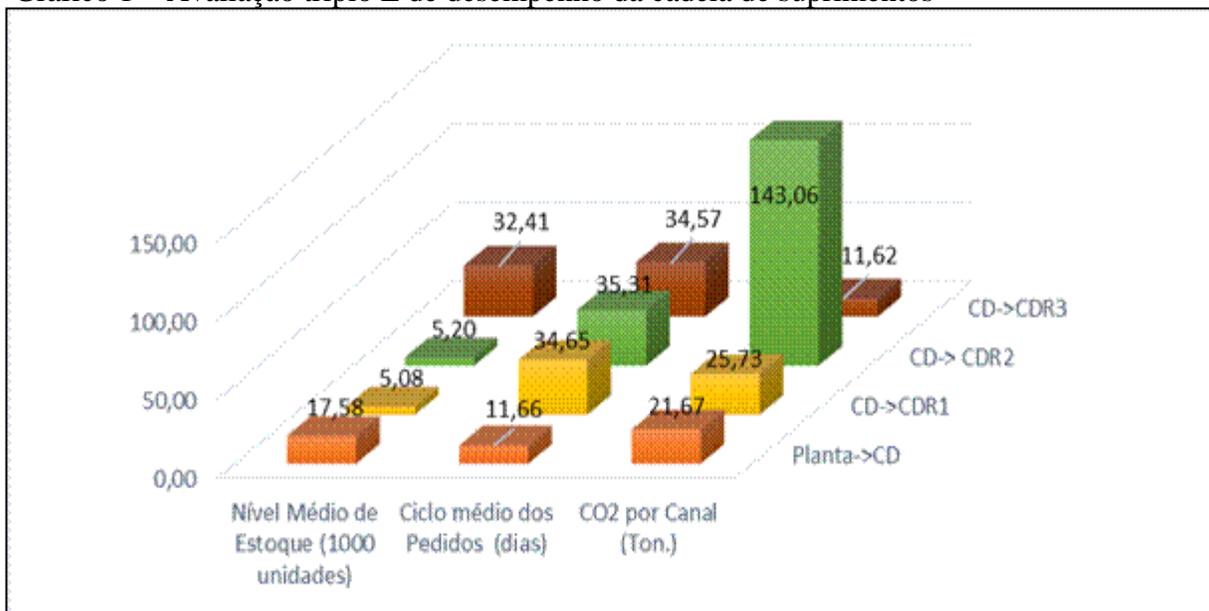
Fonte: Autor

Finalmente, com relação ao desempenho ecológico do processo de transporte para a cadeia de suprimentos analisada verificou-se que para o canal 1 (Planta => CD), o número de transportes realizados foi de 103 viagens/ano, totalizando 20.600 km percorridos, e uma

utilização da capacidade do veículo média de 90%. Com isso, esse canal 1 é responsável pela emissão de 21,673 toneladas de CO₂ no ano. Já para o canal 2 (CD=>CDR1) foram realizadas 40 viagens (24.160 km), e uma utilização da capacidade do veículo média de 93%. Isso gerou uma emissão de 25,730 toneladas de CO₂ por ano para este canal. Por sua vez, o canal 3 (CD=>CDR2) realizou 42 viagens por mês (136.542 km) e uma utilização da capacidade do veículo média de 89%. Assim o canal 3 gerou uma emissão de 146,067 toneladas de CO₂ por ano. Por último, o canal 4 (CD=>CDR3) realizou 21 viagens por mês (11.235 km), com uma utilização da capacidade do veículo média de 88%, o que gerou 11,626 toneladas de CO₂ por ano nesse canal. De forma geral, em sua configuração atual, da cadeia de suprimentos está emitindo um total de 202,096 toneladas de CO₂ por ano na atmosfera, apenas com transporte dos produtos (192.537 km). Dessa forma, o canal 1 contribui com a emissão 10,7% do total das emissões de CO₂, o canal 2 foi responsável por 12,7% do total, e enquanto o canal 4 é o quem menos emite CO₂ na atmosfera, com 5,8% do total da emissões. O canal 3 é o maior emissor de CO₂ com 70,8% do total das emissões da cadeia de suprimentos.

O Gráfico 1 ilustra a avaliação triplo E do desempenho para a cadeia de suprimentos analisado.

Gráfico 1 – Avaliação triplo E de desempenho da cadeia de suprimentos



Fonte: Autor

Conforme gráfico 1, a avaliação triplo E do desempenho para a cadeia de suprimentos permite visualizar simultaneamente o balanceamento atual entre os custos de estoque, o prazo de entrega e o nível de emissões de CO₂, em cada canal e na cadeia como um todo, considerando a estrutura da rede atual. Verifica-se assim, que é preciso otimizar o desempenho da cadeia de suprimentos através do melhor balanceamento entre os custos de estoque, o tempo de entrega dos pedidos e de emissões de CO₂. Por exemplo, uma forma de reduzir o nível de emissão de CO₂ poderia ser alcançado pelo uso do modal marítimo no canal CD=>CDR2, uma vez que esse modal de transporte emite menos carbono que o modal rodoviário utilizado atualmente.

6. CONCLUSÕES

Apesar de existir um crescente número de modelos para medir e avaliar redes de valor na literatura, existe ainda muito pouca disponibilidade para a seleção de modelos com métricas para medir e avaliar o desempenho dessas cadeias de suprimentos de forma integrada. Muitos dos modelos existentes usam métricas de desempenho de natureza apenas financeiras e não financeiras, em sua maioria, não alinhadas à estratégia das cadeias de suprimentos, uma vez que são limitadas em escopo financeiro e do atendimento ao cliente, sendo aplicadas apenas no âmbito de uma unidade de negócio individual e não para as cadeias de suprimentos como um todo. Dessa forma, os modelos utilizados para medição e avaliação de desempenho em vigor são insuficientes em capturar os três objetivos de uma cadeia de suprimentos de alto desempenho – a sua eficiência econômica, a sua eficácia no atendimento ao cliente e o seu baixo impacto ambiental.

Considerando a lacuna existente na literatura, foi apresentado um modelo para medição e avaliação do desempenho de cadeias de suprimentos de alto desempenho, baseado na abordagem triplo E (eficiência, eficácia e ecologia). O modelo foi testado através de um estudo de caso único, sendo que ao final, o modelo triplo E proposto, permitiu a análise quantitativa do desempenho considerando de forma simultânea, medidas de desempenho relacionados ao custo de estoque, aos prazos de entrega dos pedidos dos clientes e também à emissão de dióxido de carbono (CO₂) na atmosfera, pelos processos de transporte da cadeia de suprimentos. Ainda, além de permitir medir e avaliar o desempenho da cadeia de suprimentos atual como um todo, o modelo “triplo E” possibilitou também a padronização e balanceamento das medidas de desempenho (eficiência, eficácia e ecologia), além do alinhamento dos métodos de medição do desempenho através da rede e o desenvolvimento de um sistema de medição do desempenho, onde, todos os associados da cadeia de suprimentos podem ter acesso às informações de desempenho da cadeia de forma integrada, e, em tempo real.

Dessa forma, conclui-se que o modelo de medição e avaliação triplo E para cadeias de suprimentos de alto desempenho, promove a compreensão e a consistência das ações tomadas, melhorando simultaneamente a execução e tomada de decisão, uma vez que pode ser usado como um guia gerencial para o projeto e gestão de uma cadeia de suprimentos de alto desempenho, através da otimização do balanceamento entre os custos de estoque, o prazo de entrega e o nível de emissões de CO₂ de forma simultânea.

Referencias

Angerhofer, B.J., Angelides, M.C. 2006. A model and a performance measurement system for collaborative supply chains. *Decis. Support Syst.* 42 (1), 283–301.

Aramyan, L.H.; Oude Lansink, A.G.; Van Der Vorst, J.G.; Van Kooten, O. 2007. Performance measurement in agri-food supply chains: a case study, *Supply Chain Manage.: Int. J.* 12 (4), 304–315.

Arndt, H. 2010. *Supply chain management: Optimierung logistischer Prozesse*, 5 ed. Aktualisierte und überarbeitete Auflage. Lehrbuch, Wiesbaden: Glauber, p. 52-77, 114-151.

Balfaqiha, H.; Nopiah, Z.M; Saibania, N.; Al-Noryb, M.T. Performance measures and metrics in logistics and supply chain management: a review of recent literature (1995–2004) for research and applications. *Computers in Industry* 82 (2016), 135–150

- Barber, E. 2008. How to measure the value in value chains. *Int. J. Phys. Distrib. Logist. Manag.* 38 (9), 685–698.
- Beamon, B. M. 1998. Measuring supply chain performance. *International Journal of Operations & Production Management*, 19(3), 275-292.
- Beamon, B. M. 1999. Designing the green supply chain. *Logistics Information Management*, 12(4), 332-342.
- Berrah, L.; Clivillé, V. 2007. Towards an aggregation performance measurement system model in a supply chain context. *Computers in Industry*, 58, 709-719
- Bhagwat, R., Sharma, M.K. 2009. An application of the integrated AHP-PGP model for performance measurement of supply chain management. *Prod. Plan. Control* 20 (8), 678–690.
- Bhagwat, R.; Sharma, M.K. 2007. Performance measurement of supply chain management: a balanced scorecard approach. *Computers & Industrial Engineering* Vol. 53, 43–62.
- Brito, R.P.; Brito, L.A.L. 2012. Vantagem competitiva, criação de valor e seus efeitos sobre o desempenho. *RAE*. 52(1), 70.
- Bryceson, K.P., Slaughter, G. 2010. Alignment of performance metrics in a multienterprise agribusiness: achieving integrated autonomy? *Int. J. Product. Perform.Manag.* 59 (44), 325–350.
- Bullinger, H., Kühner, M., Van Hoof, A., 2002. Analysing supply chain performance using a balanced measurement method. *Int. J. Prod. Res.* 40 (15), 3533–3543.
- Cai, J., Liu, X., Xiao, Z., Liu, J. 2009. Improving supply chain performance management: a systematic approach to analyzing interactive KPI accomplishment. *Decis. Support Syst.* 46, 512–521.
- Chae, B. 2009. Developing key performance indicators for supply chain: an industry perspective, *Supply Chain Management.: Int. J.* 14 (6) 42.
- Chan, F. T. S. 2003. Performance Measurement in a Supply Chain. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 21, 534-48.
- Chan, F.T.S.; Qi, H.J. 2003a. An innovative performance measurement method for supply chain management, *Supply Chain Manage.: Int. J.* 8 (3/4), 209-223.
- Chan, F.T.S.; Qi, H.J.2003b. Feasibility of performance measurement system for supply chain: a process-based approach and measures, *Integr. Manuf. Syst.* 14 (3), 179–190.
- Charkha, P.G.; Jaju, S.B. 2014. Designing innovative framework for supply chain performance measurement in textile industry, *Int. J. Logist. Syst. Manage.* 18 (2), 216–230.

- Chenhall, R., 2005. Integrative strategic performance measurement systems, strategic alignment of manufacturing, learning and strategic outcomes: an exploratory study. *Account. Organ. Soc.* 30, 395–442.
- Chia, A., Goh, M., Hum, S.H. 2009. Performance measurement in supply chain entities: balanced scorecard perspective. *Benchmark.: Int. J.* 16 (5), 605–620.
- Cho, D.W.; Lee, YH.; Ahn, S.H.; Hwang, M.K. 2012. A framework for measuring the performance of service supply chain management. *Computers & Industrial Engineering*, 62, 801–818.
- Chopra, S.; Meindl, P. 2010. *Gerenciamento da cadeia de suprimentos*. São Paulo: Prentice Hall.
- Christopher, M. 2005. *Logística e gerenciamento da cadeia de suprimentos*. São Paulo: Cengage.
- Christopher, M., Holweg, M. 2011. Supply Chain 2.0: managing supply chains in the era of turbulence. *International Journal Of Physical Distribution & Logistics Management*, 41. 63-82.
- Cousins, P.D., Lawson, B., Squire, B. 2008. Performance measurement in strategic buyer–supplier relationships: the mediating role of socialization mechanisms. *Int. J. Oper. Prod. Manag.* 28 (3), 238–258.
- Cuthbertson, R.; Piotrowicz, W. 2011. Performance measurement systems in supply chains: A framework for contextual analysis. *International Journal of Productivity and Performance Management*, 60 (6), 583-602
- Dreyer, D.E., 2000. Performance measurement: a practitioner’s perspective. *Supply Chain Management Review*. 4 (4), 30-36.
- Elgazzar, S. H., Tipi, N. S., Hubbard, N. J., Leach, D. Z. 2012. Linking supply chain processes performance to a company’s financial strategic objectives. *European Journal of Operational Research*, 223(1), 276-289. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejor.2012.05.043>.
- EPLCA - European Platform on Life Cycle Assessment, 2018. Acessado em 10/08/2018. Disponível em: http://lcdn.thinkstep.com/Node/datasetdetail/process.xhtml?uuid=b444f4d1-3393-11dd-bd11-0800200c9a66&version=09.00.000&stock=Free_Gabi_data
- EPSTEIN, M. J., WISNER, P. S. 2001. Using a balanced scorecard to implement sustainability. *Environmental Quality Management*, 10(2), 1-11
- European Commission. 2015. ELCD 3 (European reference Life Cycle Database), Available at: <http://eplca.jrc.ec.europa.eu/ELCD3/> (accessed 05.08.18).
- Foerstl, K., Reuter, C., Hartmann, E., Blome, C. 2010. Managing supplier sustainability risks in a dynamically changing environment – Sustainable supplier management in the chemical industry. *J. Purch. Supply Manag.* 16 (2), 118–130.

- Ganga, G.M.D.; Carpinetti, L.C.R. 2011. A fuzzy logic approach to supply chain performance management. *Gest. Prod.* vol.18 no.4 São Carlos
- Jamehshooran, G.; Shaharoun, M.B., Norehan Haron, H. 2015. Assessing supply chain performance through applying the SCOR model. *Int. J. Supply Chain Manag.*4 (1), 2051-3751.
- GARTNER “Top 25 supply chains 2018”. Acessado em: 08.08.2018; Disponível em: <https://www.gartner.com/newsroom/id/3875563>
- Gattorna, J. 2009. *Dynamic Supply Chain Alignment: A New Business Model for Peak Performance in Enterprise Supply Chains Across All Geographies.* Gower Publishers.
- Giannakis, M. 2007. Performance measurement of supplier relationships. *Supply Chain Manag.: Int. J.* 12 (6), 400–411.
- GLOBAL LOGISTICS RESEARCH TEAM at MICHIGAN STATE UNIVERSITY. 1995. *World Class Logistics: The Challenge of Managing Continuous Change.* The Council of Logistics Management, Oak Brook, IL.
- Ggulledge, T.; Chavusholu, T. 2008. Automating the construction of supply chain key performance indicators. *Industrial Management & Data Systems*, 108 (6), 750-774
- Gunasekaran, A.; Patel, C.; Tirtiroglu, E. 2001. Performance measures and metrics in a supply chain environment. *International Journal of Operations & Production Management*, 21(1/2), 71-87.
- Gunasekaran, A.; patel, B. C. McGaugheyc, R.E. 2004. A framework for supply chain performance measurement. *International Journal of Production Economics* (87), 333–347.
- Gunasekaran, A., Kobu, B. 2007. Performance measures and metrics in SCM: a review of recent literature (1995–2004) and applications. *Int. J. Prod. Res.* 45, 2819–2840.
- Gunasekaran, A; Irani, Z.; Choy, K.L.; Papadopoulos, T. 2015. Performance measures and metrics in outsourcing decisions: A review for research and applications. *International Journal of Production Economics*. 161, 53-166
- Hald, K.S., Ellegaard, C. 2011. Supplier evaluation processes: the shaping and reshaping of supplier performance. *Int. J. Oper. Prod. Manag.* 31 (8), 888–910.
- Hall, D.C.; Saygin, C. 2012. Impact of information sharing on supply chain performance, *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 58 (1–4), 397–409.
- Hamprecht, J., Corsten, D., Noll, M., Meier, E. 2005. Controlling the sustainability of food supply chains. *Supply Chain Manag.: Int. J.* 10 (1), 7–10.
- Hassini, E., Surti, C.; Searcy, C. 2012. A literature review and a case study of sustainable supply chains with a focus on metrics. *International Journal of Production Economics*, 140 (1), 69-82.

- Hausman, W.H. 2003. Supply Chain Performance Measures. The Practice of Supply Chain Management, Kluwer.
- Hervani, A.A.; Helms, M.M.; Sarkis, J. 2005. Performance measurement for green supply chain management. *Benchmarking: An International Journal*, 12(4), 330-353
- Hofmann, E., Locker, A. 2009. Value-based performance measurement in supply chains: a case study from the packaging industry. *Prod. Plan. Control* 20 (1), pp.68–81.
- Holmberg, S. 2000. A systems perspective on supply chain measurements. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 30(10), 847-868.
- Huan, S.H.; Sheoran, S.K.; Wang, G.. 2004. A review and analysis of supply chain operations reference (SCOR) model. *Supply Chain Management: An International Journal*, 9 (1), 23-29
- Kannan, V.R., Tan, K.C. 2002. Supplier selection and assessment: Their impact on business performance. *J. Supply Chain Manag.* 38 (3), 11–21.
- Kaplan R.S.; Norton D. P. 1996. *Balanced Scorecard: Translating Strategy into Action*, Harvard Business School Press.
- Kelton, W.D.; Sadowski, R.P.; Sadowski, D. A. 2002. *Simulation with Arena*. 2.ed. McGraw-Hill.
- Kleijnen, J.P.C., Smits, M.T. 2003. Performance metrics in supply chain management. *J. Oper. Res. Soc.* 54 (5), 507–514.
- Kocaoğlu, B.; Gülsün. B.; Tanyaş, M. 2013. A SCOR based approach for measuring a benchmarkable supply chain performance. *Journal of Intelligent Manufacturing*. 24(1), 113–132.
- Kuhn, A.; Hellingrath, B. 2002. *Supply Chain Management Optimierte Zusammenarbeit in der Wertschöpfungskette*, Springer, Berlin.
- Lacerda, R.T.O.; Ensslin, L.; Ensslin, S.R. Uma análise bibliométrica da literatura sobre estratégia e avaliação de desempenho. *Gest. Prod.* vol.19 no.1 São Carlos 2012
- Lai, K.H.; Ngai, E.W.T.; Cheng, T.C.E. 2002. Measures for evaluating supply chain performance in transport logistics, *Transp. Res. E: Logist. Transp. Rev.* 38 (6), 439–456.
- Lambert, D. M.; Pohlen, T.L. 2001. Supply chain metrics. *The International Journal of Logistics Management*, 12(1), 1-19.
- Li, G.; Yang, H.; Sun, L.; Sohal, A.S. 2009. The impact of IT implementation on supply chain integration and performance. *International Journal of Production Economics* 120(1), 125-138.
- Li, S; Subba Rao, S. Ragu-Nathan, T.S.; Ragu-Nathan, B. 2005. Development and validation of a measurement instrument for studying supply chain management practices. *Journal of Operations Management*. 23 (6), 618-641.

- Lin, L.C.; Li, T.S. 2010. An integrated framework for supply chain performance measurement using six-sigma metrics. *Software Qual J*, 18, 387–406.
- Lockamy, A.; McCormack, K. 2004. Linking the SCOR planning practices to supply chain performance, *Int. J. Oper. Prod. Manage.* 24 (11/12), 1192–1218.
- Luzzini, D.; Brandon-Jones, E.; Brandon-Jones, A.; Spina, G. 2015. From sustainability commitment to performance: The role of intra- and inter-firm collaborative capabilities in the upstream supply chain. *International Journal of Production Economics*. 165, 51-63.
- Maestrini, V.; Luzzini, D.; Maccarrone, P.; Caniato, F. 2017. Supply chain performance measurement systems: A systematic review and research agenda. *International Journal of Production Economics*. Volume 183, Part A, 299-315.
- Mangan, J.; Lalwani, C.; Butcher, T. 2010. *Global Logistics and Supply Chain Management*. Chichester, Wiley.
- Mishra, D.; Gunasekaran, A.; Papadopoulos, T.; Dubey, R. 2018. Supply chain performance measures and metrics: a bibliometric study, *Benchmarking: An International Journal*, 25(3), 932-967.
- Mondragon, A.E.C., Lalwani, C., Mondragon, C.E.C. 2011. Measures for auditing performance and integration in closed-loop supply chains. *Supply Chain Management: An International Journal*, 16 (1), 43-56.
- Morgan, C. 2007. Supply network performance measurement: future challenges? *Int. J. Logist. Manag.* 18 (2), 255–273.
- Morgan, C.; Dewhurst, C. 2008. Multiple retailer supplier performance: An exploratory investigation into using SPC techniques. *International Journal of Production Economics*, 111, 13 – 26.
- Naini, S.G.J.; Aliahmadi, A.R.; Jafari-Eskandari, M. 2011. Designing a mixed performance measurement system for environmental supply chain management using evolutionary game theory and balanced scorecard: a case study of an auto industry supply chain, *Res. Conserv. Recycl.* 55 (6), 593–603.
- Najmi, A., Gholamian, M. R.; Makui, A. 2013. Supply chain performance models: A literature review on approaches, techniques, and criteria. *Journal of Operations and Supply Chain Management*, 6(2), 94-113.
- Neely, A., Adams, C.; Crowe, P. 2001. The Performance Prism in Practice. *Measuring Business Excellence*, 5 (2), 6 – 12.
- Neely, A.D., Gregory, M.J.; Platts, K.W. 1995. Performance measurement system design: a literature review and research agenda. *International Journal of Operations & Production Management*, 15 (4), 80-116.

- Olugu, E. U.; Wong, K. Y.; Shaharoun, A. M. 2011. Development of key performance measures for the automobile green supply chain. *Resources, Conservation and Recycling*, 55, 567–579.
- Otto, A.; Kotzab, H. 2003. Does supply chain management really pay? Six perspectives to measure the performance of managing a supply chain, *Eur. J. Oper. Res.* 144 (2), 306–320.
- Park, J.H., Lee, J.K., Yoo, J.S. 2005. A framework for designing the balanced supply chain scorecard. *Eur. J. Inf. Syst.* 14 (4), 335–346.
- Persson, F.; Olhager, J. 2002. Performance simulation of supply chain designs, *Int. J. Prod. Econ.* 77 (3), 231–245.
- Qorri, A.; Mujkić, Z.; Kraslawski, A. 2018. A conceptual framework for measuring sustainability performance of supply chains. *Journal of Cleaner Production* 189, 570-584.
- Schaltegger, S., Burritt, R. 2014. Measuring and managing sustainability performance of supply chains. *Supply Chain Manag.: Int. J.* 19 (3), 232–241.
- Sellitto, M.A., Pereira, G.M., borchardt, M., Da Silva, R.I., Viegas, C.V. 2015. A SCOR based model for supply chain performance measurement: application in the footwear industry. *Int. J. Prod. Res.* 53 (16), 4917–4926.
- Shafiee, M.; Lotfi, F.H.; Saleh, H. 2014. Supply chain performance evaluation with data envelopment analysis and balanced scorecard approach, *Appl. Math. Modell.* 38 (21), 5092–5112.
- Sharif, A.M., Irani, Z., Lloyd, D. 2007. Information technology and performance management for build-to-order supply chains. *Int. J. Oper. Prod. Manag.* 27 (11), 1235–1253.
- Shepherd, C.; Günter, H. 2006. Measuring supply chain performance: current research and future directions. *International Journal of Productivity and Performance Management*, 55(3/4), 242-258.
- Simão, L.E.; Gonçalves, M.B.; Rodriguez, C.M.T. 2016. An approach to assess logistics and ecological supply chain performance using postponement strategies. *Ecological indicators*, 63, 398-408.
- Simchi-Levi, D.; Kaminsky, P. and Simchi-Levi, E. 2010. *Cadeia de Suprimentos Projeto e Gestão: Conceitos, Estratégias e Estudos de Caso*. 3.ed. Porto Alegre: Bookman.
- Simpson, P.M., Siguaw, J.A., White, S.C. 2002. Measuring the performance of suppliers: an analysis of evaluation processes. *J. Supply Chain Manag.* 38 (4), 29–41.
- Srivastava, S.K. 2007. Green supply chain management: A state of the art literature review. *International Journal of Management Reviews*.
- Stefanović, N., Stefanović, D. 2011. Supply chain performance measurement system based on scorecards and web portals. *Comput. Sci. Inf. Syst.* 8 (1), 167–192.

Stephens, S. 2001. Supply Chain Operations Reference Model Version 5.0: A New Tool to Improve Supply Chain Efficiency and Achieve Best Practice. *Information Systems Frontiers*, 3, pp. 471

Supply Chain Council. 2008. Introduction to GreenSCOR: Introducing Environmental Considerations to the SCOR Model. Proceedings of the North America Conference and Exposition. March, 17-19, 2009, Mineapolis, MN, 18 p.

Supply Chain Council. 2012. Supply chain operations reference model SCOR version 11.0. The supply chain council, Inc. SCOR: the supply chain reference.

Tangen, T. 2004. Performance measurement: from philosophy to practice. *International Journal of Productivity and Performance Management*, 53(8), 726-737.

Thakkar, J.; Kanda, A.; Deshmukh, S.G. 2009. Benchmarking: An International Journal. 16(5), 702-723.

VDI - Verein Deutscher Ingenierue. 2002. Richtlinie 4400, Logistikkennzahlen für die Distribution, Düsseldorf.

Widyaningrum, D., Masruroh, N.A. 2013. Development of the sea fishery supply chain performance measurement system: a case study. *Int. J. Supply Chain Manag.* 1 (3), 68–80.

Wisner, J.D.; Leong, E.K; Tan, K.C.2011. Principles of Supply Chain Management: A Balanced Approach. 3.ed, int. Mason Ohio: South-Western Cengage Learning,p.526.

Yang, J. 2009. Integrative performance evaluation for supply chain system based on logarithm triangular fuzzy number-AHP method, *Kybernetes*.38 (10), 1760–1770.

Yeh, D.Y.; Cheng, C.H.; Chi, M.L. 2007. A modified two-tuple FLC model for evaluating the performance of SCM: By the Six Sigma DMAIC process, *Appl. Soft Comput.* 7 (3), 1027–1034.

Zhou, H., Benton, W.C. 2007. Supply chain practice and information sharing. *J. Oper. Manag.* 25 (6), 1348–1365.