



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE
NÚCLEO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

ALEN RALCINEIDE BRANDÃO PORTO DE FARIAS

**GERENCIAMENTO DE RISCOS NA CADEIA DE SUPRIMENTOS BASEADO EM
SISTEMAS DINÂMICOS**

Caruaru

2020

ALLEN RALCINEIDE BRANDÃO PORTO DE FARIAS

**GERENCIAMENTO DE RISCOS NA CADEIA DE SUPRIMENTOS BASEADO EM
SISTEMAS DINÂMICOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a (o) Coordenação/Núcleo do Curso de Engenharia de Produção do Centro Acadêmico do Agreste da Universidade Federal de Pernambuco, para obtenção parcial da graduação/bacharelado em Engenharia de Produção.

Área de concentração: Gestão da Produção.

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Sampaio Lopes

Caruaru

2020

Catálogo na fonte:
Bibliotecário – Simone Xavier - CRB/4 - 1242

F224g Farias, Alen Ralcineide Brandão Porto de.
Gerenciamento de riscos na cadeia de suprimentos baseado em sistemas dinâmicos.
/ Alen Ralcineide Brandão Porto de Farias. – 2020.
48 f.; 30 cm.

Orientador: Rodrigo Sampaio Lopes.
Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) - Universidade Federal de
Pernambuco, CAA, Engenharia de Produção, 2020.
Inclui Referências.

1. Cadeia de suprimentos. 2. Administração de risco. 3. Sistemas dinâmicos. I.
Lopes, Rodrigo Sampaio (Orientador). II. Título.

CDD 658.5 (23. ed.)

UFPE (CAA 2020-068)

ALLEN RALCINEIDE BRANDÃO PORTO DE FARIAS

**GERENCIAMENTO DE RISCOS NA CADEIA DE SUPRIMENTOS BASEADO EM
SISTEMAS DINÂMICOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção.

Aprovada em: 03/09/2020.

BANCA EXAMINADORA

Profº. Dr. Rodrigo Sampaio Lopes (Orientador)
Universidade Federal de Pernambuco

Profº. Dr. Marcele Elisa Fontana (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Profº. Ms. Thiago Lima de Barros (Examinador Externo)
Universidade Federal de Alagoas

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por estar ao meu lado durante todas as fases de minha vida, agradeço a ele por ter me dado saúde e força para superar as dificuldades e conquistar os objetivos que trilhei ao longo do curso.

Por este trabalho de conclusão, agradeço especialmente a todos que direta ou indiretamente contribuíram para realização desse sonho.

Agradeço, portanto, a minha avó Neinda (In memoriam) por todo amor, cuidado, zelo e proteção desde o início da vida e ao meu avô Nizendo por permanecer do meu lado em todos os momentos, investindo na minha educação e me ensinando com o seu velho ditado “do jeito que for vai bem” que independente do caminho trilhado, tudo no final dará certo.

Aos meus tios Ruth e Clovis e a minha prima Ana Carla, por desde cedo me acolherem e se tornarem meu núcleo familiar, me apoiando nos meus objetivos, me aconselhando em todos os desafios e me suportando na rotina intensa e cansativa da universidade. A vocês, minha profunda gratidão.

Ao meu noivo Javan Neves, por partilhar comigo momentos de apreensão e de alegria nas fases finais do curso e deste presente trabalho, por toda paciência e compreensão quando muitas vezes achei que não conseguiria e que os ventos não estavam soprando a favor e por acreditar no meu potencial.

Agradeço também aos meus amigos (as), em especial Isabela, Ana Flávia e Rita por compartilharem junto comigo momentos pessoais e profissionais que moldaram e aprimoraram as competências que hoje possuo. Além de me apoiarem e vibrarem em todas as minhas conquistas como se fossem suas.

A Ciclo Consultoria, empresa júnior na qual tive o primeiro contato com o mercado de trabalho, adquirindo maturidade profissional e a certeza que devo atuar com dedicação e robustez nos ramos da engenharia de produção.

Agradeço ao meu professor orientador Dr. Rodrigo Sampaio que além de orientador, foi guia e conselheiro em minhas tomadas de decisões.

Por fim, agradeço a Universidade Federal de Pernambuco por toda qualidade e bagagem acadêmica que recebi e desenvolver durante esta fase da minha vida.

RESUMO

O gerenciamento de riscos em uma cadeia de suprimentos (SCRM) é um grande desafio para gestores, pois incertezas da demanda, lead times curtos, roubo de cargas, acidentes por imprudência, quebras de equipamentos e más condições das malhas rodoviárias tem sido alguns riscos iminentes para a perda de competitividade almejada pelas cadeias de suprimentos. Visto que, buscar a redução de incertezas dentro da cadeia de suprimentos acarreta o aumento nível de serviço, a redução de custos logísticos e operacionais, bem como o alargamento da margem de lucro de um ou mais produtos de um setor produtivo. Neste sentido o presente trabalho propõe a utilização do SCRM para identificar e mitigar a ocorrência de eventos perigosos e possíveis rupturas em uma cadeia de suprimentos, especialmente nas etapas de concepção do produto, transporte e distribuição, através do desenvolvimento de um modelo de sistema dinâmico. Os resultados do modelo aumentaram a resiliência do sistema da cadeia de suprimentos amortizaram as gravidades de consequências de eventos perigosos através da simulação e aplicação de estratégias de mitigação para cenários de riscos.

Palavras-chave: Cadeia de Suprimentos. Riscos. SCRM. Sistema Dinâmico. Estratégias de Mitigação.

ABSTRACT

The management of risks in a supply chain (SCRM) is a great challenge for managers, as uncertainties in demand, short lead times, cargo theft, accidents due to recklessness, equipment breakdowns and poor conditions of road networks bring eminent risks that mitigate competitiveness in supply chains. Knowing that the reduction of uncertainties within the supply chain generates an increase in the level of service, reduction in logistical and operational costs, as well as the widening of the profit margin of one or more products in a productive sector it is presented in this work an application of SCRM. The aim is to identify and mitigate the occurrence of dangerous events and possible disruptions in a supply chain, especially in the stages of product design, transportation and distribution, through the development of a dynamic system model. The results of this model increased the resilience of the supply chain system and amortized the severity of consequences of dangerous events within risk scenarios through the simulation and application of mitigation strategies.

Keywords: Supply Chain. Risks. SCRM. Dynamic Systems. Mitigation strategies.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Processo de modelagem do gerenciamento de riscos da cadeia de suprimentos baseado em sistemas dinâmicos.....	22
Figura 2 - Diagrama de ciclo causal de uma variável afetada por um evento perigoso	24
Figura 3 - Diagrama de ciclo causal do sistema de inventário do transporte de uma cadeia de suprimentos.....	25
Figura 4 - Diagrama de ciclo causal da capacidade de transporte de uma cadeia de suprimentos	26
Figura 5 - Diagrama de estoque e fluxo do transporte de uma Cadeia de Suprimentos.....	28
Figura 6 - Desempenho inicial do sistema de transporte de uma cadeia de suprimentos	30
Figura 7 - Desempenho do nível de inventário com aumento de 10% na demanda do cliente	31
Figura 8 - Diagrama de estoque e fluxo do transporte de uma cadeia de suprimentos afetado pelo risco.....	33
Figura 9 - Comparação de desempenho entre os cenários sem risco e com risco das variáveis de Cumprimento da demanda e Taxa de atendimento da fábrica	35
Figura 10 - Comparação de desempenho entre os cenários sem risco e com risco das variáveis de Capacidade de transporte e tempo de transporte.....	36
Figura 11 - Comparação de desempenho entre os cenários sem risco e com risco das variáveis de nível de inventário e taxa de nível de serviço de entrega	37
Figura 12 - Resultados da simulação comparativa entre o método 1 de mitigação de risco e o cenário de risco base	40
Figura 13 - Resultados da simulação comparativa entre os métodos 2 e 3 de mitigação de risco e o cenário de risco base	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Métodos de gerenciamento de riscos na cadeia de suprimentos	18
Tabela 2 - Definição das principais variáveis utilizadas para modelar o sistema	29
Tabela 3 - Resultado da simulação para nove cenários de risco	34
Tabela 4 - Gravidade de consequência das variáveis prejudicadas pelos cenários de risco.....	37
Tabela 5 - Métodos de mitigação de riscos sugeridos	39
Tabela 6 - Efeito dos métodos de mitigação de risco aplicados	41
Tabela 7 - Comparação entre os cenários de riscos mais afetados e os métodos de mitigação aplicados	42

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	OBJETIVOS.....	12
2	REFERENCIAL TEÓRICO	13
2.1.	LOGÍSTICA.....	13
2.2	CADEIA DE SUPRIMENTOS	14
2.2.1	O papel do transporte dentro da cadeia de suprimentos.....	15
2.2.1.1	Modos de transporte dentro de uma cadeia de suprimentos.....	16
2.2.2	Riscos na cadeia de suprimentos.....	16
2.2.2.1	Gerenciamento de Riscos na Cadeia de Suprimentos (SCRM).....	18
2.3	SISTEMAS DINÂMICOS	20
3	METODOLOGIA.....	21
4	MODELO PROPOSTO	23
4.1	DEFINIÇÃO DO PROBLEMA	23
4.2	RELAÇÕES CAUSAIS DE INTERDEPENDÊNCIA ENTRE OS FATORES DO MODELO E SEUS RISCOS	23
4.2.1	O impacto de fatores de risco	23
4.2.2	Sistema de inventário dinâmico	24
4.2.3	Capacidade de transporte dinâmico	26
4.2.4	Tempo de transporte	27
4.3	DESENVOLVIMENTO DO DIAGRAMA DE ESTOQUE E FLUXO.....	28
4.3.1	CONDIÇÕES INICIAIS DO MODELO	29
4.4	VALIDAÇÃO DO MODELO.....	30
4.5	SIMULAÇÃO NÚMERICA	32
4.5.1	SIMULAÇÃO DE CENÁRIOS DE RISCO	33
4.5.2	SIMULAÇÃO DE CENÁRIOS DE MITIGAÇÃO DE RISCO	35
4.6	IMPLICAÇÕES GERENCIAIS.....	43
5	CONCLUSÃO.....	44
	REFERÊNCIAS	45

APÊNDICE A - DIAGRAMA DE ESTOQUE E FLUXO DO TRANSPORTE DE UMA CADEIA DE SUPRIMENTOS	47
APÊNDICE B - DIAGRAMA DE ESTOQUE E FLUXO DO TRANSPORTE DE UMA CADEIA DE SUPRIMENTOS AFETADO PELO RISCO	48

1 INTRODUÇÃO

O gerenciamento de riscos da cadeia de suprimentos, difundido mundialmente como *supply chain risk management* (SCRM), é uma abordagem sistemática em fases que almeja identificar, avaliar, priorizar, mitigar e monitorar potenciais rupturas na cadeia de suprimentos (RAJAGOPAL *et al.*, 2017) desempenhando um papel crucial em lidar com os desafios de um ambiente de negócios dinâmico e incerto no qual as empresas estão inseridas atualmente (MUNIR *et al.*, 2020). Além de ser um dos ramos que tem atraído considerável atenção de acadêmicos e profissionais nos últimos anos, sendo desenvolvidos modelos conceituais e analíticos para identificar e mitigar diversos tipos de riscos, em diversos seguimentos, tais como: Produtos químicos, perecíveis, portos marítimos, agronegócio, automobilístico, entre outros. Alguns estudos correlatos foram realizados por autores como Li *et al.* (2016), Fan *et al.* (2017), Yeo *et al.* (2013), Behzadi *et al.* (2017), Mensah *et al.* (2017), Dong *et al.* (2016), Prakash *et al.* (2018), Chu *et al.* (2020).

Rajagopal *et al.* (2017) afirmaram que incertezas da demanda, lead times curtos, custos, fornecimento e frequentes desastres catastróficos são riscos iminentes e comuns que podem resultar em perdas econômicas severas, baixo nível de serviço ao cliente e perda de reputação das empresas envolvidas na cadeia de suprimentos. Já Bouloiz *et al.* (2013) chama atenção para as interações e particularidades existentes entre os componentes da cadeia, sejam de ordem: técnica, humana ou organizacional, que normalmente são riscos negligenciados ou desconsiderados no gerenciamento.

O transporte de uma cadeia de suprimentos, derivado do termo em inglês *supply chain transport* (SCT), é considerado um dos processos operacionais mais significativos em termo de riscos, de acordo com Li *et al.* (2016). Especificações técnicas na concepção do produto, incertezas acerca do ambiente, perturbações ambientais e perigos de muitas ordens são alguns dos fatores que geram desafios contundentes para o SCT, sendo de suma importância o desenvolvimento e implementação de métodos que aumentem a eficiência e a confiabilidade nos transportes de uma cadeia de suprimentos, para melhorar o desempenho empresarial através da redução de cenários de riscos.

No entanto, é interessante pontuar que muitos estudos em SCRM são realizados para analisar um tipo específico de risco, ao invés de oferecer uma estrutura ampla em gerenciamento de riscos. Havendo a necessidade de uma análise mais profunda, a fim de oferecer técnicas vantajosas em um contexto que se avalia uma variedade mais exaustiva de eventos perturbadores em uma cadeia de suprimentos.

Além disso, Li *et al.* (2016) relatam que, em sua maioria, os modelos dos sistemas de SCRM possuem uma natureza de modelos estáticos, ignorando que os *feedbacks* das informações entre os loops lógicos que surgem de relacionamentos interativos governam as mudanças no comportamento do sistema e justamente por isso devem ser levados em consideração na construção do modelo e simulação.

Portanto, o presente trabalho buscou ao invés de avaliar os riscos com base em conhecimentos prévios especializados ou em dados históricos, utilizar a combinação de abordagens de modelagens para quantificação do desempenho do sistema com procedimentos interativos de análise de risco através da utilização do *software Vensim* ©.

1.1 OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho é construir um modelo de gerenciamento de riscos na cadeia de suprimentos através da conexão entre sistemas dinâmicos e simulação computacional empregando informações qualitativas, quantitativas e efeitos de *feedbacks* para gerenciar uma variedade mais exaustiva de riscos. Oferecendo uma abordagem metodológica para lidar com relações causais entre o sistema e os eventos perigosos associados.

Para o alcance do objetivo geral, foram traçados os seguintes objetivos específicos:

- Definir a problemática a ser explorada e as relações de interdependência;
- Coletar dados para a aplicação da metodologia;
- Modelar o problema de acordo com o referencial teórico;
- Definir os parâmetros do modelo;
- Analisar a aderência do modelo testando a robustez dos resultados obtidos;
- Simular Cenários de riscos e mitigá-los;
- Sugerir tomada de decisões gerenciais acerca dos cenários apresentados.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. LOGÍSTICA

Matana *et al* (2020) define logística como todas as atividades de transporte e armazenamento, que facilitam o escoamento dos produtos desde o ponto de compra da matéria-prima até o ponto de consumo final, bem como os fluxos de informações que movimentam os produtos, com o objetivo de fornecer níveis adequados de serviço aos clientes a um custo razoável.

Existem três atividades primárias que servem de intermédio para o alcance dos objetivos logísticos de custo e nível de serviço, são elas:

- Transportes: estudo dos métodos para se movimentar produtos. Decisões ligadas normalmente a modais de transporte, rotas de distribuição e a utilização de suas capacidades.
- Manutenção de estoques: decisões relacionadas aos níveis de estoque e gerenciamento de provisões. Estoques agem como amortecedores entre a oferta e a demanda e agregam o valor de ‘tempo’ aos produtos da empresa, enquanto o transporte agrega o valor de ‘lugar’.
- Processamento de pedidos: é um elemento altamente crítico em termos de tempo no que se diz respeito ao tempo necessário para se levar um produto a um cliente. O processamento de pedidos é também a atividade primária que dá início ao fluxo de pedidos, movimentando os produtos durante todo o processo logístico (BALLOU, 2006).

Tais atividades são consideradas primárias porque elas representam a maior parcela do custo total da logística ou são essenciais para o cumprimento das operações. Além das atividades primárias é necessário considerar também as atividades e operações adicionais que compõem as atividades primárias, são elas: Armazenagem; manuseio de materiais; embalagens; programação de produtos e manutenção da informação.

Com a evolução dos conceitos logísticos, diversos pontos foram sendo introduzidos nas metodologias. O aprimoramento e o estudo de diversos conceitos contribuíram positivamente para uma melhor eficiência logística e a confirmação de que uma boa administração é essencial para a perpetuação e sustentabilidade dos negócios empresariais.

Segundo Munir *et al.* (2020) as empresas modernas operam em um ambiente de mudanças rápidas e complexas necessitando que a logística empresarial, através da

administração de materiais e da distribuição física entregue os bens e serviços no momento certo, na quantidade exata e no local determinado sob pressões persistentes dos custos e da qualidade. Portanto a era da logística empresarial já está em curso e o desenvolvimento das cadeias de suprimento ao lado das funções do marketing e produção é um fator cada vez mais importante.

2.2 CADEIA DE SUPRIMENTOS

Uma cadeia de suprimentos consiste em todas as partes envolvidas, diretamente ou indiretamente, em atender as necessidades dos diversos clientes. Na cadeia de suprimentos não só estão incluídos fornecedores e fabricantes, mas também as empresas transportadoras de mercadoria, armazéns, centros de distribuição, revendedores e até os próprios clientes. Inclusive, dentro de cada, todas as atividades e operações logísticas citadas no tópico anterior estão presentes, assim como as funções de marketing, operações, finanças e o atendimento ao consumidor (CHOPRA *et al.*, 2013). A cadeia de suprimentos são então um fluxo constante de informações, produtos e capital entre diferentes estágios onde a principal característica de uma gestão eficiente de uma cadeia de suprimentos é a coordenação das atividades entre as entidades interdependentes (MUNIR *et al.*, 2020).

O sucesso de uma cadeia de suprimentos deve ser medido em termos de rentabilidade da cadeia de suprimentos como um todo e não apenas como um indivíduo individual dentro da cadeia. Chu *et al* (2020) traz que com o aprimoramento das tecnologias de compartilhamento de informações e a tendência da globalização, as cadeias de suprimentos domésticas evoluíram para cadeias de suprimentos globais, integrando recursos multinacionais a suas operações atuais, aumentando a capacidade de redução de custos, oferecendo a oportunidade de entrada em novos mercados e desenvolvendo uma metodologia focada em aumentar a rentabilidade de toda a cadeia fazendo com que seus diversos participantes busquem aumentar a sua participação média nos ganhos.

Tendo definido o que é o sucesso de uma cadeia de suprimentos e sabendo que os membros da cadeia de suprimentos buscarão aumentar a fatia de seu lucro, é necessário estudar e definir as origens dos valores agregados, vendas e custos dentro da cadeia. Sabendo que a única receita obtida dentro de uma cadeia de suprimentos vem do consumidor é necessário entender como todos os outros fluxos de informação, produtos e os próprios participantes da cadeia irão gerar os custos.

Portanto, a administração apropriada destes fluxos será a chave para o sucesso da cadeia de suprimento que por sua vez está ligada diretamente a um conjunto de decisões que devem ser tomadas em diversos níveis ao longo dela própria. As decisões por si só e seus impactos podem variar por uma diversidade de razões. Para que o impacto seja o mais positivo possível, as empresas vêm construindo e se consolidando no mercado através de decisões acerca do design, planejamento e operações dentro da cadeia de suprimentos.

2.2.1 O papel do transporte dentro da cadeia de suprimentos

O transporte dentro de uma cadeia de suprimentos é fator primordial para seu sucesso, pois dificilmente um produto é produzido e consumido no mesmo local, sendo, portanto, o transporte parte de todas as etapas da cadeia, desde seu início até o cliente final. E em suma, transporte nada mais é que o movimento de produtos de um ponto até o outro.

As cadeias de suprimentos globais existem devido a possibilidade de seus produtos serem transportados por todos os seus estágios até o cliente final, permitindo que mais pessoas possuam acesso aos mesmos itens sem precisar arcar com o alto custo de obter fábricas em todos esses locais. Ou seja, o transporte global permite que empresas como Dell, *Apple*, *Netshoes*, *Natura*, *Amazon*, *Unilever* vendam seus produtos manufaturados pelo mundo inteiro.

O sucesso de qualquer cadeia de suprimentos está intimamente ligado ao uso apropriado do transporte que, como já foi citado anteriormente, permite que as empresas centralizem os estoques e operem com menos instalações. Segundo Chopra *et al.* (2013), existem 4 partes que influenciam na eficácia do transporte:

- O expedidor, que é a parte que quer a movimentação do produto entre dois pontos;
- O transportador, que é a parte que movimenta ou transporta o produto;
- Os proprietários e os operadores de infraestrutura de transporte como estradas, portos, canais e aeroportos;
- As agencias que definem a política de transporte mundial.

Ainda segundo Chopra *et al.* (2013), para entender o transporte em uma cadeia de suprimentos é preciso considerar o ponto de vista das quatro partes citadas, onde o transportador toma as decisões de investimento frente ao equipamento de transporte (caminhões, aviões, locomotiva) e a infraestrutura (ferrovia, rodovia) e depois toma as decisões operacionais para maximizar o retorno desses bens. Já o expedidor, por sua vez, usa o transporte para minimizar o custo total da cadeia, enquanto oferece um nível ideal de responsividade ao cliente.

Para a maioria dos modos de transporte, a infraestrutura é crucial para a fluidez das operações. O principal operador de transporte atualmente em todo o mundo está ligado ao setor público, sendo de extrema importância a administração da infraestrutura de modo que haja dinheiro para manutenção e investimentos em mais capacidade conforme o necessário, representando, caso a ressalva citada anteriormente não seja cumprida, um alto risco de ruptura na cadeia, resultando no aumento dos custos totais e na queda do nível de serviço. E justamente por isso, como meio regulamentador, a política de transporte existe para direcionar a quantidade de recursos nacionais que vão para melhoria de infraestrutura de transporte, além de visar evitar o abuso do poder do monopólio, promover a concorrência justa e balancear aspectos ambientais, de energia e sociais.

2.2.1.1 Modos de transporte dentro de uma cadeia de suprimentos

A eficácia de qualquer modo de transporte é afetada diretamente por investimentos em equipamentos, decisões operacionais do transportador e as políticas de infraestrutura e transporte disponíveis para o caso em questão, ou seja, o transportador deve decidir o modo ou a combinação de modos de transporte para seu negócio através das seguintes variáveis: Custo do equipamento, os custos operacionais fixos, os custos operacionais variáveis, o nível de serviço que se deseja oferecer ao público alvo e os preços que o mercado aceitará. Atualmente as principais combinações de modos de transportes são: Aéreo; Rodoviários – Caminhões; Ferroviários; marítimos; duto viários e intermodal.

2.2.2 Riscos na cadeia de suprimentos

Nos últimos anos, as interrupções nas cadeias de suprimentos têm afetado o desempenho das empresas, onde os desafios por tensões geopolíticas, tarifas comerciais e desastres naturais, como incêndios, terremotos e inundações, são constantes. Entretanto, as possibilidades de interrupções são inúmeras e a cada dia mais severas, como exemplo a súbita escalada da crise sanitária mundial provocada pelo novo Corona Vírus (COVID-19) em 2020, que demonstrou a grande vulnerabilidade e fragilidade das cadeias de suprimentos nacionais e internacionais.

Segundo Ho *et al.* (2015), os riscos em uma cadeia de suprimentos podem ser divididos em duas categorias: os macros riscos e os micros riscos. Os macros riscos referem-se a eventos e situações externas adversas e relativamente raras como os riscos naturais de terremotos e

desastres relacionados ao clima e os riscos provocados pelo homem como guerras, terrorismo e instabilidades políticas. Por outro lado, os micros riscos referem-se a eventos recorrentes e originados diretamente de atividades internas das empresas e/ou relacionamentos entre parceiros de toda a cadeia de suprimentos.

Os macros riscos têm um impacto negativo muito maior sobre as organizações que os micros riscos. Ainda segundo Ho *et al.* (2015) os micros riscos podem ser divididos em quatro subcategorias: Riscos de demanda, riscos de fabricação, riscos de fornecimento e riscos infra estruturais. Tais riscos são mais bem explanados a seguir:

- Riscos de demanda: São eventos adversos que impactam os parceiros a jusante ou a montante de uma organização da cadeia, servindo como exemplo para testar a eficiência dos planos de contingência da organização em questão;
- Riscos de fabricação: São eventos ou situações adversas a capacidade interna da organização de produzir bens e serviços, afetando a qualidade, pontualidade e lucratividade da produção;
- Riscos de fornecimento: São eventos adversos que impactam a entrega do produto ao próximo nível da cadeia, seja o mesmo intermediário ou ao próprio cliente final;
- Riscos infra estruturais: São situações adversas que impactam no funcionamento saldável da cadeia de suprimentos em termos de tecnologia da informação, transporte e sistemas financeiros.

Vários pesquisadores fornecem definições diferentes para riscos na cadeia de suprimentos, onde cada definição aplica-se melhor em domínios específicos, como riscos de suprimentos, riscos de informações, riscos de fluxo de materiais, riscos de fluxo de produtos, riscos financeiros, entre outros. Desta maneira, foram escolhidos algumas dessas definições para melhor descrever o tema:

De acordo com Jüttner, Peck e Christopher, citados por HO, ZHENG, YILDIZ e TALLURI (2015), “São quaisquer riscos para as informações, materiais e fluxos de produtos dos fornecedores originais até a entrega do produto ao usuário final”.

De acordo com Bogataj e Bogata, citados por HO, ZHENG, YILDIZ e TALLURI (2015), “É a variação potencial de resultados que influenciam a diminuição do valor adicionado em qualquer célula de atividade em uma cadeia”.

De acordo com Ellis, Henry e Shockley, citados por HO, ZHENG, YILDIZ e TALLURI (2015) “É a percepção de um indivíduo da perda potencial total associada à interrupção do fornecimento de um determinado item comprado de um determinado fornecedor”.

Por fim, segundo Ho *et al.* (2015), riscos na cadeia de suprimentos é definido como a probabilidade e o impacto de eventos ou condições inesperadas de nível macro e/ou micro que influenciem adversamente qualquer parte de uma cadeia de suprimentos, levando a falhas ou irregularidades nos níveis operacionais, táticos e estratégicos.

2.2.2.1 Gerenciamento de Riscos na Cadeia de Suprimentos (SCRM)

Assim como na definição de riscos na cadeia de suprimentos, citado no tópico anterior, o gerenciamento de riscos na cadeia de suprimentos também possui vários véis conceituais que se complementam, entretanto fica notório nas pesquisas acerca do tema que a falta de um conceito que abranja todos os processos do SCRM. Diante de tal afirmação, Ho *et al.* (2015) propôs que o gerenciamento de riscos de uma cadeia de suprimentos é um esforço colaborativo Inter organizacional que utiliza metodologias quantitativas e qualitativas de gerenciamento de riscos para identificar, avaliar, mitigar e monitorar eventos ou condições macro e micro inesperados e que podem impactar negativamente qualquer parte de uma cadeia de suprimentos.

Os métodos de gerenciamento de risco na cadeia de suprimentos desenvolvidos na literatura possuem dois focos principais: O gerenciamento de riscos de processos individuais ou específicos e o gerenciamento de risco de mais de um processo de forma integrada. Este estudo buscará explorar as duas abordagens de forma a comparar os pontos positivos e negativos de ambas, como pode ser visto na tabela 1.

Tabela 1 – Métodos de gerenciamento de riscos na cadeia de suprimentos

SCRM	APLICAÇÃO
Individual	<p>Etapas de aplicação:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li data-bbox="459 1525 1431 1727">1. Identificação do risco: Podem ser usados métodos qualitativos e quantitativos como o método analítico <i>AHP</i>, mapas de vulnerabilidade das cadeias de suprimentos, identificação de riscos a partir do conhecimento prévio, entre outros; <li data-bbox="459 1742 1431 2000">2. Avaliação de risco: Identificar: a probabilidade da ocorrência de um evento perigoso e a significância das suas ocorrências. Onde existem alguns métodos de classificação que podem ser escolhidos a depender do objetivo do estudo: Avaliação de riscos macros, Avaliação de riscos por demanda, Avaliação de riscos por fabricação, Avaliação de riscos

	<p>de fornecimento, Avaliação de riscos de financeiro, Avaliação de riscos de informação e Avaliação de riscos geral;</p> <ol style="list-style-type: none"> 3. Mitigação de riscos: Devem ser aplicados métodos de acordo com o contexto do modelo: Mitigação de riscos macro, mitigação de riscos por demanda, mitigação de riscos por fabricação, mitigação de riscos por fornecimento, mitigação de riscos financeiro, mitigação de riscos de informação e por fim mitigação de riscos geral; 4. Monitoramento de riscos, devendo ser desenvolvidos modelos de diagnósticos de pré aviso para identificar efetivamente dados anormais e determinar com precisão alertas
Integrado	<p>Formas de aplicação:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Quantitativo - São estruturados em cinco etapas: identificação de riscos, avaliação de riscos, consequências de riscos, resposta de gerenciamento de riscos e resultados de desempenho de riscos, mas que aconselham focar sempre em duas etapas são elas: identificação e avaliação de risco ou avaliação e mitigação de risco ou identificação e mitigação de risco. Tal método propõe o foco em duas frentes pois identificou-se, segundo Kern <i>et al.</i> (2012) que a identificação de risco superior suporta a avaliação de risco subsequente, e por sua vez, leva a uma melhor mitigação de riscos. 2. Qualitativo - Subdivide em: analisar as cadeias de suprimentos, identificar os tipos e fatores de riscos, avaliar a probabilidade de ocorrência e o impacto geral, selecionar e implementar estratégias de mitigação e melhorar continuamente o processo.

Fonte: A autora (2020)

Os dois caminhos trazem frutos satisfatórios, entretanto, dependem do objetivo da sua aplicabilidade, pois o quantitativo possui relativamente menos trabalho de aplicação por focar em duas etapas apenas, apresenta quantificação dos impactos de fatores de riscos com métodos estatísticos e possibilita a medição da eficiência e eficácia das estratégias de mitigação com a utilização de simulação. Portanto conclui-se que independente da escolha do método as etapas de identificação, avaliação, mitigação e integração dos processos devem estar muito bem definidas e clara para que a modelagem do estudo obtenha sucesso.

2.3 SISTEMAS DINÂMICOS

Modelos de sistemas dinâmicos (SD) tratam do estudo e desenvolvimento de relações causais entre variáveis que constituem a estrutura de sistemas complexos, permitindo diversas formas de análises em um maior conjunto de fatores que podem vir a influenciar no comportamento do sistema ao decorrer do tempo (BOULOIZ *ET AL.*, 2013). Tais modelos baseiam-se em *feedbacks* de informações para buscar direcionamentos gerenciais.

Desta maneira, na maioria das vezes, os SD dividem-se em dois aspectos principais: O “sistema” que envolve toda a estrutura do sistema e as relações de *feedbacks* presente e a “dinâmica” que reflete as mudanças no comportamento das variáveis do sistema ao longo do tempo, demonstrando como os laços de *feedbacks* são primordiais para o comportamento dinâmico do sistema (BOULOIZ *ET AL.*; YEO *ET AL.*, 2013).

Em um diagrama de ciclo causal as interações entre as variáveis devem ser formalizadas a fim de demonstrar todas as suas interdependências dentro dos limites do sistema. Desta forma, uma cadeia de relações causais fechada é considerada um *loop de feedback*, podendo ser positivo ou negativo (LI *ET AL.*, 2016). O loop positivo é instável e oscila, fazendo com que os sistemas cresçam, evoluam e entrem em colapso, enquanto o loop negativo caminha em direção a uma situação de estabilidade.

O método SD auxilia na tomada de decisões através da utilização de modelagem e simulação. Segundo Bouloiz *et al.* (2013) e Li *et al.* (2016) esse método tem sido amplamente aplicado para analisar setores onde quanto maior a complexidade maior sua utilização. Alguns exemplos de utilização: prevenção e gestão de crises em organizações, inovações de processos e gestão em múltiplos projetos de Q&D. Especificamente no setor industrial, Li *et al.* (2016) apresenta a aplicação para analisar, identificar e mitigar acidentes por riscos internos e externos a organizações.

A aplicação do método SD ao SCRM simula as operações na cadeia de suprimentos, prevê os comportamentos à medida que o sistema muda sob diversas situações de riscos e preocupa-se com a análise qualitativa e quantitativa do desempenho dinâmico em sistemas. Levando em consideração interações lógicas entre os componentes do sistema e facilitando que novas situações sejam incrementadas e adaptadas ao modelo, tornando-se possível explorar diferentes resultados à medida que são apresentados diferentes cenários, obtendo-se o comportamento do sistema em termos de processo, informação, tomada de decisão e limites organizacionais.

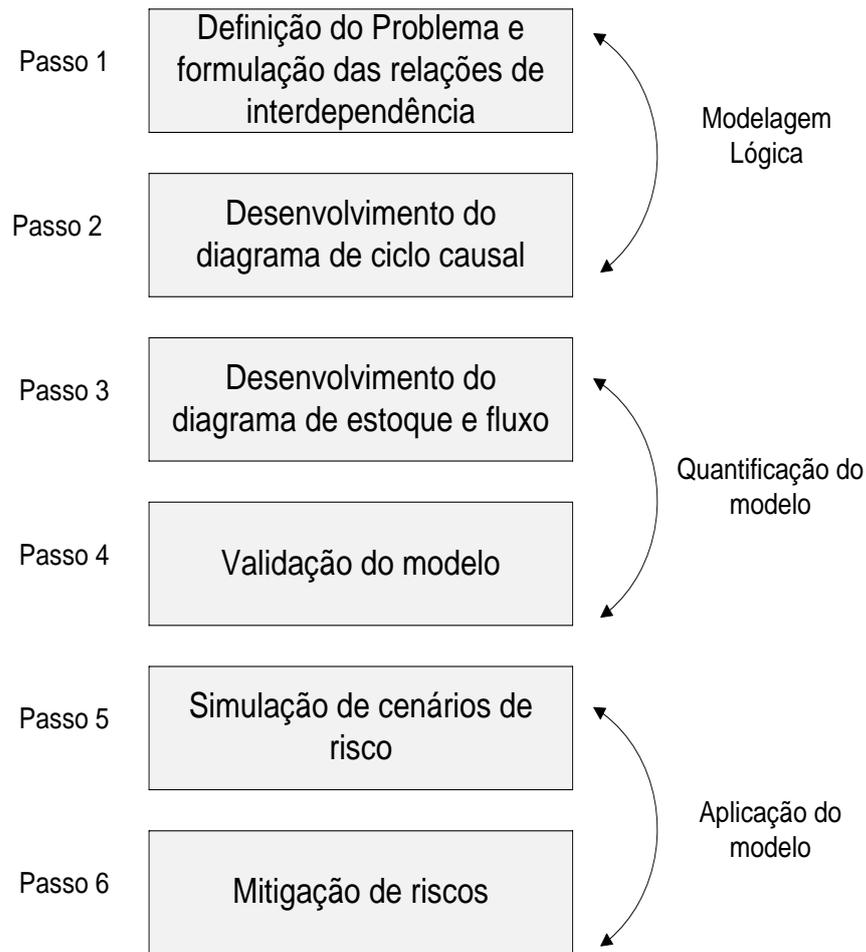
3 METODOLOGIA

Com o objetivo de se alcançar o conhecimento, se fez necessária a utilização de um conjunto de procedimentos técnicos e intelectuais definido como Método Científico (GIL, 2002). Gerhardt (2009) cita que a metodologia é o estudo do método, sendo o corpo de regras estabelecidas para a realização de uma pesquisa.

A natureza das fontes do estudo foi bibliográfica e prática, cujo tema sistemas dinâmicos e simulação computacional aplicado ao desempenho de uma cadeia de suprimentos. Pela natureza da fonte, os objetivos também foram de ordem bibliográfica e prática, com soluções dos problemas apresentados no campo teórico e real. Por fim, a técnica de coleta de dados foi documental e experimental, ou seja, dados foram pesquisados e retirados de livros, artigos, trabalhos acadêmicos e meios eletrônicos, abrindo um vasto campo de pesquisa e de amplas abordagens.

Para auxílio do estudo foram utilizados o *software Vensim* © (*Software Comercial*) e o Excel ®, programa incluso no pacote Office desenvolvido pela Microsoft ®. Por fim, através da pesquisa bibliográfica realizada e dos pontos debatidos ao longo deste trabalho foi tomado como base a metodologia proposta por Yeo *et al.* (2013) considerando três fases para modelagem do problema: Modelagem lógica, quantificação do modelo e aplicação do modelo, com a aplicação de oito passos, que no presente estudo foram sintetizados e adaptados em seis passos, como é possível visualizar no fluxograma apresentado na figura 1.

Figura 1 - Processo de modelagem do gerenciamento de riscos da cadeia de suprimentos baseado em sistemas dinâmicos



Fonte: A autora (2020)

O primeiro passo do processo de modelagem do SD tratou da definição do problema, onde foi identificado o objetivo do estudo, quais seriam suas fronteiras temporárias e quais as principais variáveis a serem analisadas, para assim formular suas relações de interdependências. No segundo os comportamentos das variáveis foram abordados para demonstrar as relações de causa e efeito entre a modelagem e os eventos inesperados e as relações foram formalizadas e transferidas para um diagrama de ciclo causal.

No terceiro passo o diagrama de ciclo causal foi transmitido para um diagrama de estoque e fluxo, utilizando linguagem de programação, onde as variáveis foram caracterizadas, receberem valores e parâmetros. Para que no quarto passo, o modelo fosse validado e no quinto passo o desempenho base do sistema fosse obtido para a partir de aí serem analisados cenários de riscos que permitissem identificar os riscos com maior impacto no modelo. Por último, no sexto passo, foram aplicadas estratégias que mitigassem os principais riscos.

4 MODELO PROPOSTO

4.1 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

O modelo de SCRM buscou identificar e analisar como a ocorrência de eventos perigosos influencia no fluxo de recursos de uma cadeia de suprimentos enfatizando às etapas de concepção do produto, transporte e distribuição da cadeia de suprimentos, sendo necessário observar o comportamento de algumas variáveis principais dentro da estrutura para guiar o estudo a entender como outros fatores influenciam no desempenho das mesmas e como esses fatores podem ser mitigados ao longo do tempo, são: Cumprimento da demanda pela fábrica, taxa de atendimento da fábrica, nível de inventário, capacidade de transporte, tempo de transporte e taxa de nível de serviço da entrega.

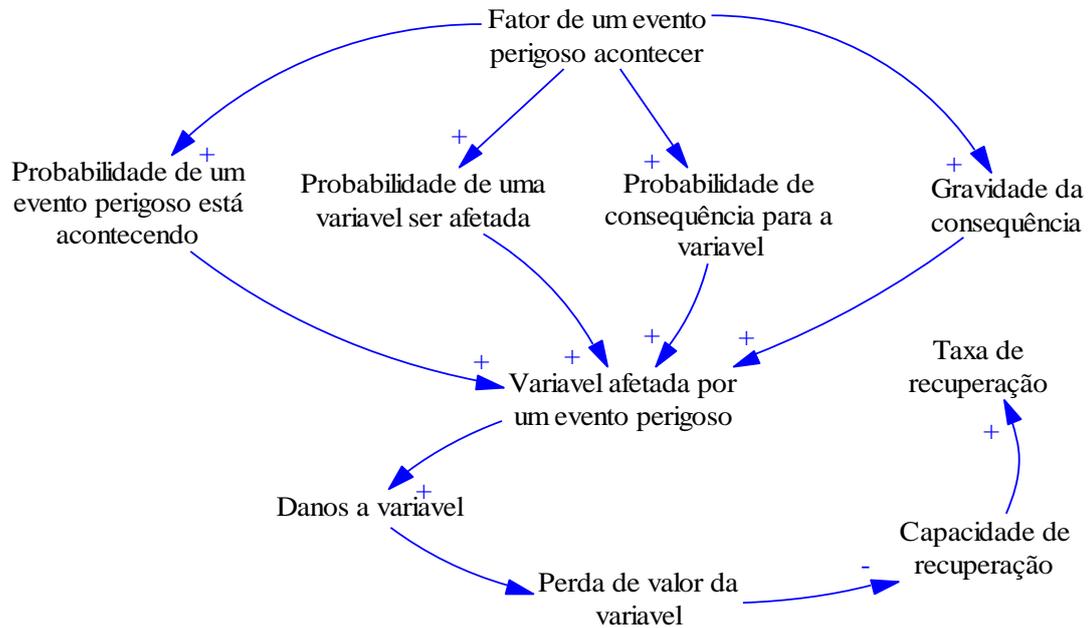
4.2 RELAÇÕES CAUSAIS DE INTERDEPENDÊNCIA ENTRE OS FATORES DO MODELO E SEUS RISCOS

4.2.1 O impacto de fatores de risco

No SCRM considera-se que o risco é um fator importante na investigação de efeitos dinâmicos ocasionados por eventos indesejados. De acordo com Li *et al.* (2016) as relações causais devem obter sua estrutura baseada em quatro dimensões de risco: A probabilidade de um evento perigoso está ocorrendo, a probabilidade de uma determinada variável ser afetada por esse evento perigoso, a probabilidade de gerar consequência para a variável e a gravidade dessa consequência.

A probabilidade de um evento perigoso está acontecendo nada mais é que a frequência da ocorrência desse evento dentro de um período finito, já a probabilidade de uma variável ser afetada pelo evento perigoso é a possibilidade de a depender da variável que o evento interfira ou não em seu desempenho. A probabilidade de consequência indica a probabilidade da consequência, dada a ocorrência de um evento de risco e por fim, a gravidade de consequência objetiva enfatizar que ocorrem diferentes gravidades dependendo de qual variável for afetada. A figura 2 demonstra as relações de riscos, adaptada de Li *et al* (2016).

Figura 2 - Diagrama de ciclo causal de uma variável afetada por um evento perigoso



Fonte: Adaptado de Li *et al* (2016)

Em um diagrama de loop causal, a seta indica a direção de uma relação de causa e efeito em que a variável causadora é representada pela origem da seta e a variável afetada está no ponto da seta. Além disso, observa-se os sinais de “+” e “-” nas setas significando relações positivas e negativas respectivamente, de modo que nos efeitos positivos: ocorre um aumento ou diminuição direto entre as variáveis, efeitos negativos: ocorre um aumento ou diminuição inverso.

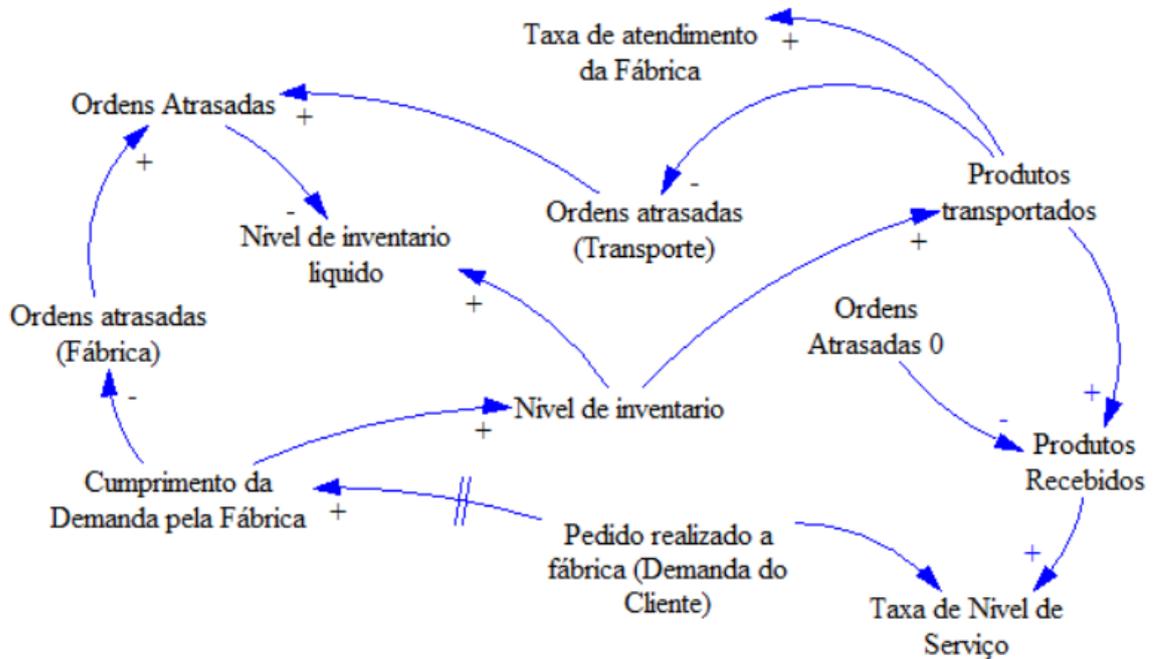
4.2.2 Sistema de inventário dinâmico

Toda cadeia de suprimentos possui ressalvas e particulares relacionadas ao tipo de produto que trabalha, a exemplo que uma cadeia de suprimentos de produtos químicos que transporta grandes volumes de substâncias e recursos ligados a imiscibilidade e incompatibilidade determinam que os produtos não possam ser misturados no transporte e armazenagem. Onde aumenta o risco de um evento inesperado interromper o processo de transporte, diminuindo o nível de serviço e afetando os sistemas de inventário.

Sistemas de inventário podem ser diretamente afetados por informações oferecidas através de loops lógicos de feedbacks e por isso, precisam ser gerenciados e utilizados de forma a otimizar sua capacidade de armazenamento, levando em consideração suas particularidades.

O método SD pode auxiliar nesse gerenciamento, permitindo o desenvolvimento das relações causais que demonstram a interdependência existente entre as variáveis do sistema, assim como na figura 3.

Figura 3 - Diagrama de ciclo causal do sistema de inventário do transporte de uma cadeia de suprimentos



Fonte: A autora (2020)

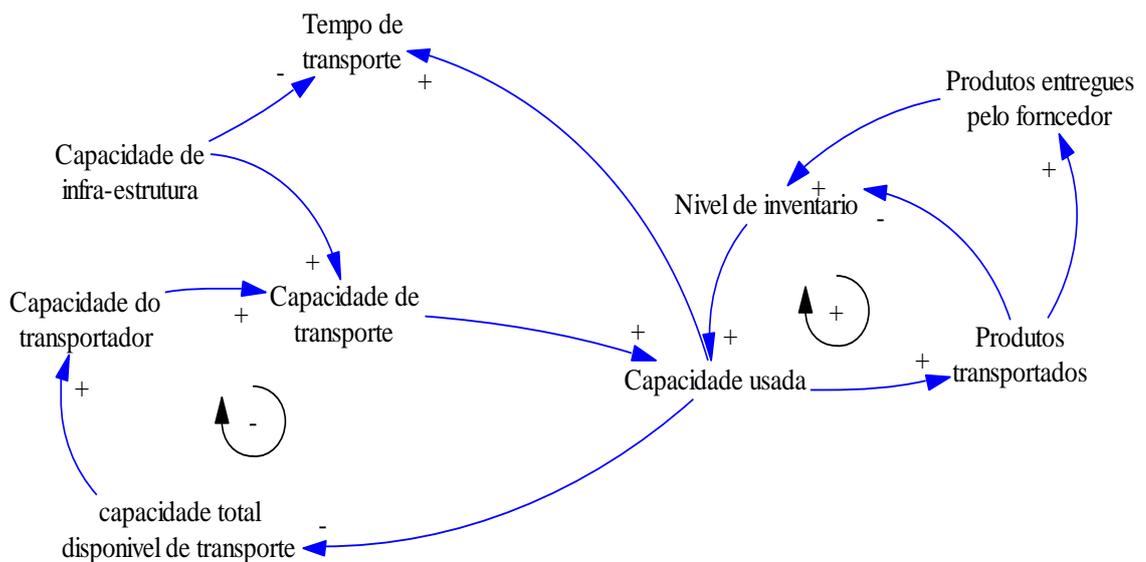
No diagrama de loop do sistema de nível de inventário as setas com “||” representam um atraso no processamento da ordem em um intervalo de tempo entre as variáveis interativas e o nível de inventário em questão é calculado pelo fluxo de chegada das ordens dos clientes a jusante para a fábrica e pela saída das ordens transportadas para o cliente a montante dentro de um certo período de tempo. Desta maneira, caso as ordens realizadas pelo cliente a fábrica não consigam acompanhar a necessidade das ordens a serem transportadas, por atrasos internos de manufatura ou déficits de capacidade de transporte, ocorrerá um atraso e o total de produtos recebidos pelo cliente reduzirá.

No diagrama da figura 3 é importante observar que o nível de inventário pode ser impactado diretamente por problemas de atrasos internos de manufatura ou por problemas de mal dimensionamento da capacidade de transporte como dito anteriormente. Ambos os casos impactam diretamente o nível de inventário líquido, a taxa de atendimento da fábrica e a taxa de nível de serviço final, entretanto possuem graus de gravidade diferentes e métodos de resoluções distintos que serão abordados nos tópicos de simulação e resultados do presente estudo.

4.2.3 Capacidade de transporte dinâmico

De acordo com a escolha dos recursos de transporte, como modal, tipo de armazenamento de produtos e a via utilizada, a capacidade de transporte baseia-se na união da capacidade de infraestrutura e da capacidade do transportador. A capacidade de infraestrutura constitui-se das rotas escolhidas e dos fatores ambientais presentes, não podendo ser alterada ou modificada pelo transportador, entretanto podendo ser mais bem planejada. Já a capacidade do transportador está relacionada com a capacidade dos equipamentos envolvidos e a quantidade de mão de obra selecionada, devendo ser controlada e alterada por melhorias. A figura 4 apresenta os fatores que definem a capacidade de um SCT através do diagrama de ciclo causal.

Figura 4 - Diagrama de ciclo causal da capacidade de transporte de uma cadeia de suprimentos



Fonte: A autora (2020)

No diagrama desenvolvido existe uma estabilidade oferecida por um loop negativo e a capacidade de transporte é alimentada pela capacidade de infraestrutura e pela capacidade do transportador onde caso ambas aumentem seus desempenhos a capacidade de transporte aumenta seu desempenho de forma diretamente proporcional. A capacidade usada por sua vez é alimentada pela capacidade do transportador e pelo nível de inventário, indicando que o máximo de produtos transportados terá que ser o mínimo entre as duas variáveis citadas, demonstrando que se o nível de inventário estiver alto (Demanda do Cliente mais alta ou lead time de produção menor) a capacidade de transporte precisará ser bastante planejada e organizada, pois poderá trazer impressões positivas ao cliente a jusante com o aumento da taxa

de nível de serviço ou impressões igualmente negativas com a diminuição da taxa de nível de serviço.

Ainda sobre o diagrama da figura 4 é necessário a atenção para o loop positivo formado, demonstrando que se a capacidade de transporte estiver sempre abaixo do nível de inventario, a quantidade de produtos transportados será sempre inferior ao necessário, alimentando sempre um aumento do nível de inventario e uma distante chance de a capacidade de transporte acompanhar o sistema, levando ao ponto de colapso já explicado em tópicos anteriores sobre loops positivos.

4.2.4 Tempo de transporte

Entende-se que qualquer evento perigoso pode interromper o fluxo de operações no transporte em uma cadeia de suprimentos, causando distúrbios significativos a todo o sistema. Desta forma, é importante levar em consideração como as variáveis dinâmicas se comportam frente a atrasos de tempo. O tempo de transporte é influenciado pelo volume de produtos transportados e da capacidade de infraestrutura disponível.

Para o presente estudo, a fórmula para calcular o tempo de transporte foi adaptada de Li *et al.* (2016) com o objetivo de contabilizar o tempo de SCT afetada pelo risco, sendo representado como:

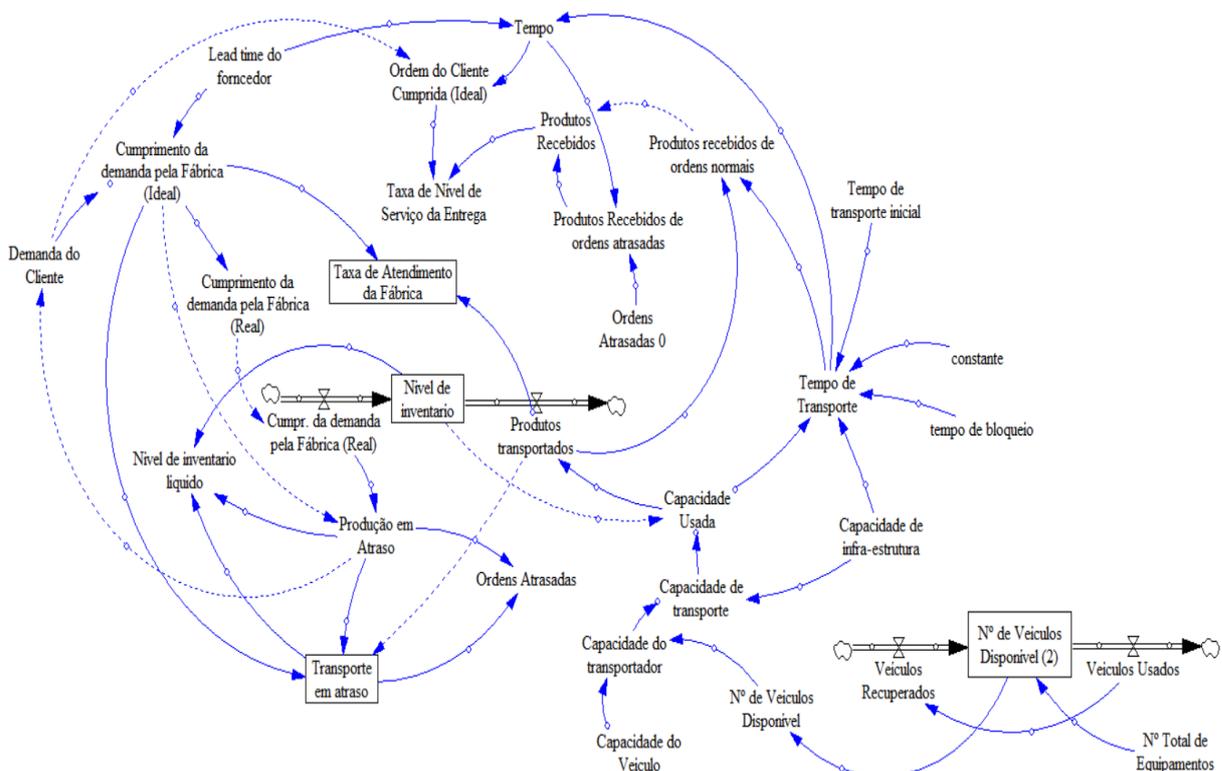
$$T = \left\{ \begin{array}{l} \mathbf{T \text{ bloqueio, } Ct = 0 \\ (1 + \partial)T_o, \frac{Vt}{Ct} \leq 0,9 \\ (1 + \partial)T_o \frac{Vt}{Ct}, \frac{Vt}{Ct} > 0,9 \end{array} \right\}$$

Onde T é o tempo de transporte estimado, **T_o** é o tempo de transporte inicial, caso não houvesse nenhum evento perigoso, **V_t** é a capacidade usada e **C_t** é a capacidade de infraestrutura. **C_t = 0** significa que a rota de transporte está bloqueada e **T bloqueio** é o tempo de bloqueio dessa rota. ∂ é uma constante que descreve o aumento do tempo de transporte de acordo com algum tipo de evento perigoso. O tempo de transporte em diferentes condições pode ser estimado e tem o objetivo de simular dinamicamente operações de transporte, mostrando por exemplo que um desastre natural afeta diretamente a capacidade de infraestrutura que conseqüentemente resultaria em um aumento do tempo de transporte.

4.3 DESENVOLVIMENTO DO DIAGRAMA DE ESTOQUE E FLUXO

Os diagramas de ciclo causal descritos e desenvolvidos no tópico anterior foram transferidos para um diagrama de estoque e fluxo através da utilização do *software Vensim* ©, oferecendo informações quantitativas a partir do uso de estoques, fluxos e variáveis de decisão. O sistema de uma cadeia de suprimentos tem a função de conectar o fluxo de materiais entre as etapas da cadeia, recebendo produtos de fornecedores e enviando para seus clientes finais. Numa cadeia de suprimentos o fornecedor a montante busca suprir a demanda do cliente à jusante, enviando para o transportador a quantidade de produtos demandada e considerando que o transportador possuirá capacidade. Entretanto, o diagrama da figura 5, apresenta uma cadeia de suprimentos sujeita a riscos que podem interromper as principais etapas e prejudicar o desempenho do sistema. A variável no retângulo significa estoque, um elemento essencial do modelo, que descreve o acúmulo, seja de material, informação ou comportamento ao longo do tempo. O fluxo é o repasse de informações que serve para coordenar as mudanças das variáveis de estoque, já as setas tracejadas são utilizadas para uma melhor visualização do modelo. A tabela 1 ilustra definições das principais variáveis utilizadas no modelo e o APÊNDICE I demonstra de forma mais nítida as informações apresentadas na figura 5.

Figura 5 - Diagrama de estoque e fluxo do transporte de uma Cadeia de Suprimentos



Fonte: A autora (2020)

Tabela 2 - Definição das principais variáveis utilizadas para modelar o sistema

Variável	Definição	Função
Demanda do cliente	Distribuição probabilística	Variável que define a quantidade de produtos que o fornecedor precisa produzir
Cumprimento da demanda pela fábrica (Ideal)	DELAY FIXED (demanda do cliente, lead time do fornecedor)	Retornar o valor de entrada com um tempo de atraso
Nível de inventario	INTEG (cumprimento da demanda a montante – produtos transportados)	Retornar o volume de produtos que precisam ser transportados
Produção em Atraso	Igual: Cumprimento da demanda pela fábrica (Ideal) – Cumprimento da demanda pela fábrica (Real)	Retorna a quantidade de produtos que deveriam ser produzidos e que por fatores internos não foram
Taxa de Atendimento da Fábrica	Igual: Produtos transportados/Cumprimento da demanda pela fábrica (Ideal)	Variável que demonstra a taxa de conclusão do pedido pela fábrica
Capacidade de transporte usada	Min (capacidade de transporte, nível de inventario)	Transportar os produtos com capacidade máxima
Capacidade de infraestrutura	Distribuição probabilística	Variável que afeta a capacidade de transporte
Capacidade do transportador	Igual: Nº de veículos disponível * Capacidade do veículo	Variável que afeta a capacidade de transporte
Produtos transportados	Igual: Capacidade de transporte usada	Retorna a quantidade máxima de produtos que podem ser transportados
Transporte em Atraso	Igual: Cumprimento da demanda pela fábrica (Ideal) – Produção em atraso – produtos transportados	Retorna a quantidade de produtos que não foram transportados por limitação da capacidade de transporte
Nível de inventário líquido	Igual: nível de inventário – Produção em Atraso – Transporte em Atraso	Identificar o volume real de produtos no estoque
Produtos Recebidos	DELAY FIXED (Produtos Transportados, Tempo de transporte)	Retornar o valor de entrada com um tempo de atraso
Taxa de Nível de Serviço de Entrega	Igual: Produtos recebidos /Cumprimento da demanda pela fábrica (Ideal)	Variável que demonstra a taxa de conclusão do pedido para o cliente final

Fonte: A autora (2020)

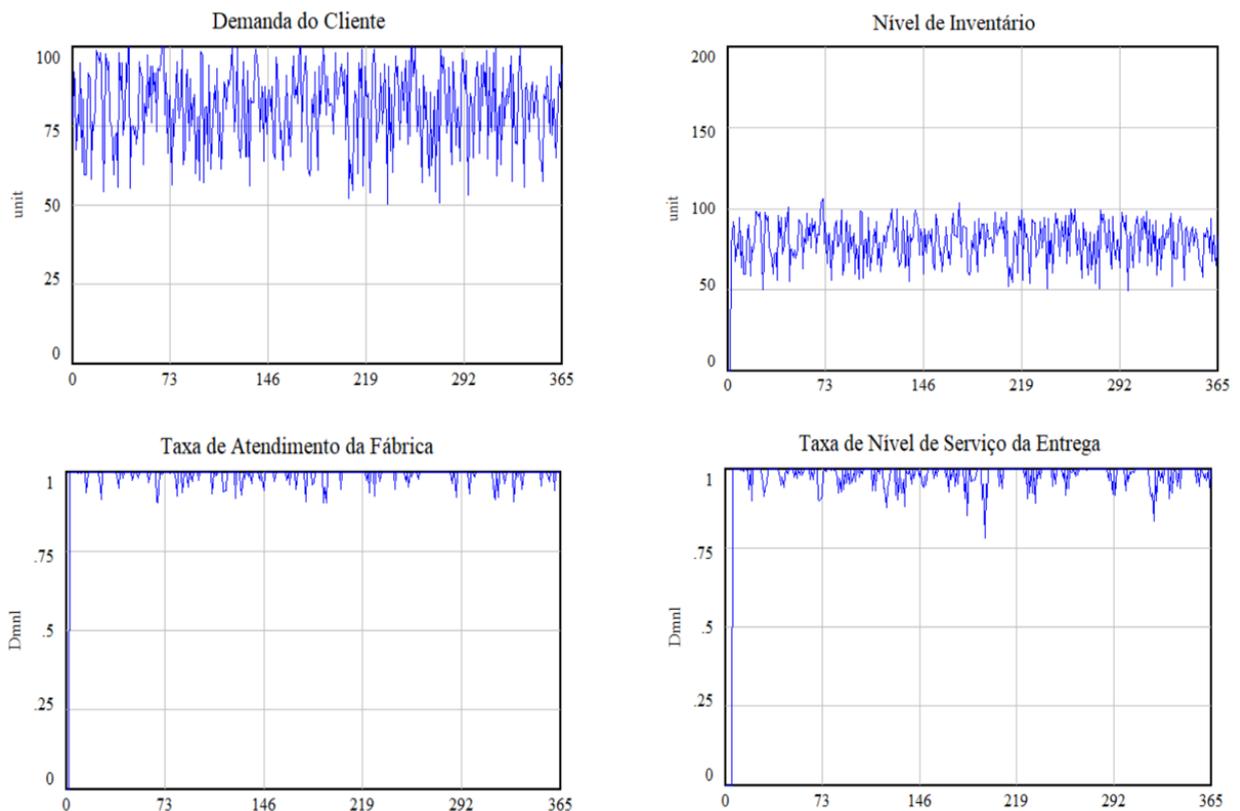
4.3.1 Condições iniciais do modelo

A princípio, o SD foi simulado num cenário base onde o valor inicial de cada variável do sistema foi definido no início, considerando um período de simulação de 365 dias, com o passo de simulação de um dia. Para construção do cenário base foram considerados a demanda

do cliente, seguindo uma distribuição normal com um mínimo de 50 produtos e um máximo de 100 produtos. A quantidade de produtos transportados foi definida pelo mínimo entre a capacidade de infraestrutura e a capacidade do transportador, garantindo que nunca será transportado mais do que a infraestrutura da via escolhida e assumindo que tanto a capacidade de infraestrutura como a de transportador segue distribuições normais.

Parte do desempenho do sistema de acordo com o cenário base descrito anteriormente é mostrado na figura 6. A ordem do cliente foi encaminhada ao fornecedor que em contrapartida produziu e disponibilizou ao transportador, alimentando o nível de inventário. Ocorreram entregas atrasadas do fornecedor (Fábrica) ao sistema de entrega devido a influências operacionais do processo com uma taxa de cumprimento entre 0.90 e 1.00 e ao cliente final devido a influências da capacidade de transporte usada e do tempo de transporte, acarretando uma taxa de cumprimento entre 0.77 e 1.00.

Figura 6 - Desempenho inicial do sistema de transporte de uma cadeia de suprimentos



Fonte: A autora (2020)

4.4 VALIDAÇÃO DO MODELO

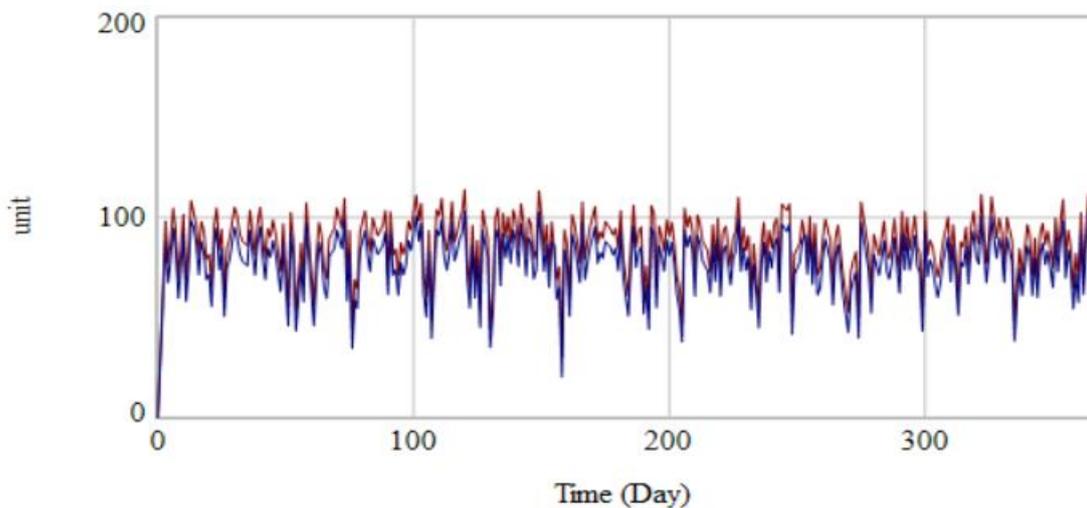
O modelo desenvolvido necessitou de ser validado antes de ser utilizado a fim de obterem-se informações gerenciais acerca das operações através das simulações. Tal validação

focou na estrutura do modelo e a robustez do seu comportamento, baseando-se nas suas relações causais e forçando uma comparação entre as interações oferecidas pela simulação e pelo comportamento real.

Segundo Forrester e Senge (1980) o modelo precisa passar por três testes de validação: Estrutura e parâmetros, situações extremas e consistência dimensional e desta maneira, foram definidos valores de parâmetros para situações extremas com base no conhecimento do autor, objetivando verificar se os resultados das variáveis coincidiam com o comportamento previsto do sistema na realidade.

Para demonstrar o método de validação proposto, o modelo foi submetido a uma situação de condições extremas e observou-se a influência de uma variável significativa: Capacidade de transporte. O valor da capacidade de transporte depende de uma combinação entre a capacidade do transportador e a capacidade de infraestrutura, onde se o número de produtos necessitados é maior que a capacidade de transporte, ocorre um atraso no processo e causa acúmulo de produtos no nível de inventário. A fim de verificar se tal acontecimento ocorre, foi realizado um aumento de 10% da demanda do cliente como mostra a figura 7.

Figura 7 - Desempenho do nível de inventário com aumento de 10% na demanda do cliente



Fonte: A autora (2020)

A linha azul representa o desempenho inicial do sistema e a linha vermelha o teste como aumento de 10% da demanda do cliente, demonstrando que com o aumento inesperado da demanda, a dificuldade da capacidade de transporte de acompanhar essa demanda é nítida e atrasos frequentes aparecem, aumentando o nível de inventário. Desta forma, o resultado obtido coincide com o comportamento lógico que se esperava desde o início.

O teste de inconsistência dimensional foi realizado para examinar as dimensões das equações fornecidas, pois os lados da equação são fornecidos através de um cálculo lógico, onde o princípio da homogeneidade dimensional determina se as variáveis podem ser calculadas ou comparadas. Desta forma, uma variável estoque, por exemplo, necessitou que seus fluxos de entrada e saída estivessem na mesma unidade desejada para o estoque dividido pela unidade de tempo utilizado no passo de simulação. Além de outras particularidades, como variáveis que possuíam a necessidade de serem adimensionais devido a sua natureza lógica, precisando serem expressas no tipo “Dml”, como, taxas, entrada de riscos, entre outros.

É importante frisar que como o software usado para desenvolver o modelo desse estudo é todo em inglês, as unidades utilizadas no programa também remetem a língua estrangeira na maioria dos momentos.

Por fim, uma vez testado e validado, o modelo foi utilizado para simular o desempenho do sistema frente a alguns cenários de riscos e de mitigação.

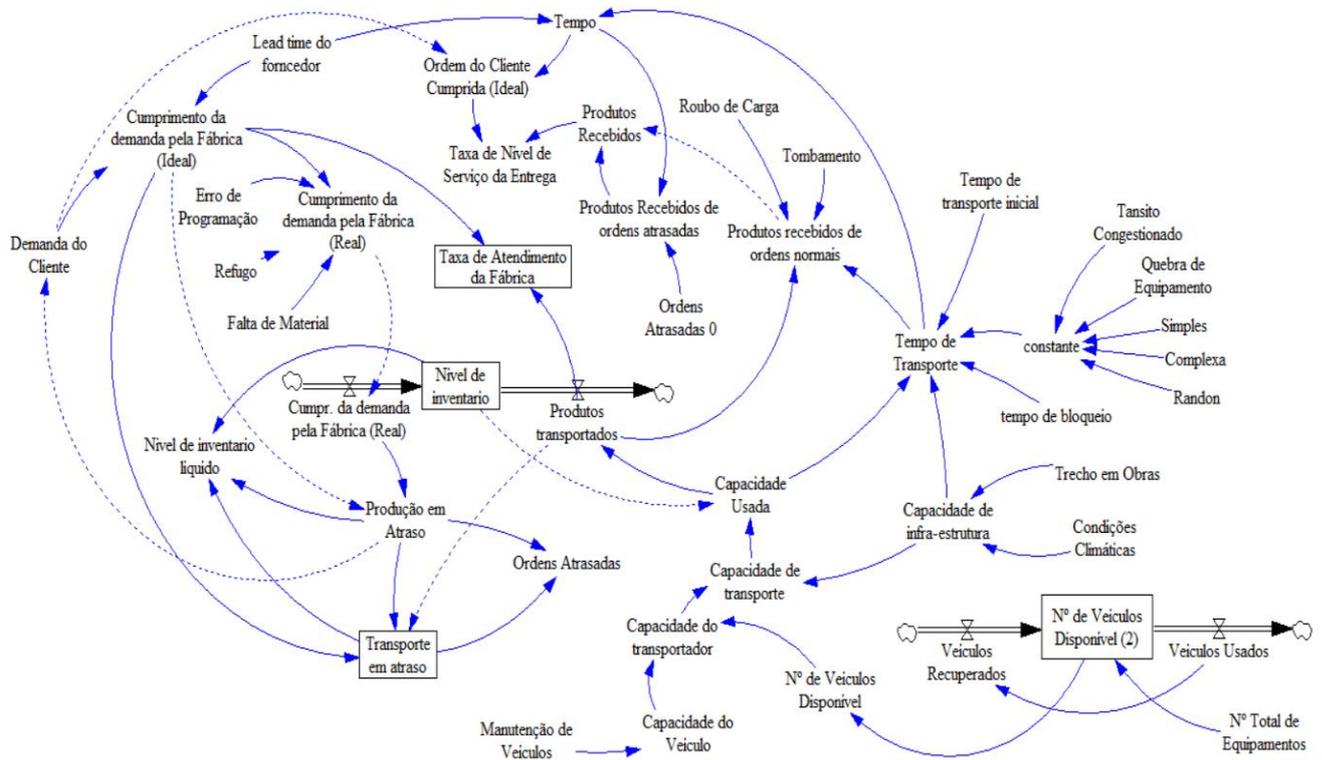
4.5 SIMULAÇÃO NÚMERICA

Riscos operacionais dentro de uma cadeia de suprimentos são a possibilidade de ocorrências de perdas resultantes de falha, deficiência ou inadequação de quaisquer processos internos ou externos envolvendo pessoas, procedimentos e sistemas. Tais características são intrínsecas ao processo de concepção (fabricação) e transporte de produtos em uma cadeia de suprimentos e podem vir a causar atrasos ou danos em todo o decorrer do sistema (Li *et al.*,2016).

As consequências destes riscos podem estar relacionadas a problemas de fabricação: Falta de matéria prima, erros de programação e problemas de qualidade e problemas de transporte: Quebras de equipamentos, condições climáticas e trânsito congestionado, que afetam diretamente o nível de serviço e os custos.

Para o modelo foram listados riscos que poderiam afetar diretamente as variáveis de decisão, como o cumprimento da demanda pela fábrica, taxa de atendimento da fábrica, tempo de transporte, capacidade de transporte, nível de inventário e taxa de nível de serviço de entrega. A figura 8 mostra um novo diagrama de estoque e fluxo do transporte em uma cadeia de suprimentos influenciado pelo risco e o APÊNDICE II demonstra de forma mais nítida as informações apresentadas na figura 8.

Figura 8 - Diagrama de estoque e fluxo do transporte de uma cadeia de suprimentos afetado pelo risco



Fonte: A autora (2020)

Na figura 8 é importante observar que buscou-se separar os riscos imputados ao modelo em riscos internos ao processo de fabricação do produto, como falta de material (Matéria prima), Refugo e erros de programação e riscos externos ao processo de transporte e entrega dos produtos como manutenção de veículos, trecho em obras, acidentes por tombamento, roubo de cargas, quebra de veículos, entre outros para que nos próximos tópicos as problemáticas sejam abordadas e resolvidas de formas distintas.

4.5.1 Simulação de cenários de risco

O método de sistema dinâmico é baseado em cenários e pode ser usado para investigar o impacto das alterações de parâmetros no comportamento do modelo ao longo do tempo. A perturbação aplicada é amplificada ou autocorrigida ao longo dos loops de feedback de informações existentes, tendo assim o sistema um comportamento dinâmico.

Para o estudo, foram considerados nove cenários de riscos, onde os cinco primeiros estão relacionados aos riscos internos do modelo e os 4 últimos aos riscos externos. Foram atribuídos diferentes comportamentos ao sistema de acordo com a literatura, permitindo uma

análise do impacto dos riscos nas variáveis envolvidas na cadeia, assim como o desenvolvimento de algumas estratégias de mitigação. A tabela 2 apresenta o desempenho do sistema com os valores máximo, mínimo e médio nos cenários de risco de acordo com o período de simulação.

Tabela 3 - Resultado da simulação para nove cenários de risco

Desempenho do Sistema Cenários de riscos	Cumprimento da demanda pela fábrica (Real)		Taxa de atendimento da Fábrica		Capacidade de transporte		Tempo de transporte		Nível de Inventário		Taxa de nível de serviço da entrega	
	Max		Max		Max		Max		Max		Max	
Falta/Gerencia- mento inadequado do processo de fabricação	Max	88.70	Max	0.89	Max	120.00	Max	3.00	Max	88.70	Max	0.89
	Med	68.12	Med	0.85	Med	114.20	Med	3.00	Med	68.09	Med	0.85
	Min	41.32	Min	0.80	Min	99.78	Min	3.00	Min	41.32	Min	0.80
Falta/Gerencia- mento inadequado do inventário	Max	99.96	Max	1.00	Max	120.00	Max	3.00	Max	99.96	Max	1.00
	Med	58.11	Med	0.71	Med	114.14	Med	3.00	Med	58.12	Med	0.71
	Min	30.68	Min	0.58	Min	97.15	Min	3.00	Min	30.68	Min	0.58
Falta de mão de obra qualificada	Max	99.54	Max	1.00	Max	120.00	Max	3.00	Max	99.54	Max	1.00
	Med	74.69	Med	0.93	Med	114.20	Med	3.00	Med	74.63	Med	0.93
	Min	42.14	Min	0.80	Min	99.78	Min	3.00	Min	42.14	Min	0.80
Alto nível de variação do processo	Max	99.96	Max	1.00	Max	120.00	Max	3.00	Max	99.96	Max	1.00
	Med	72.21	Med	0.89	Med	114.14	Med	3.00	Med	72.21	Med	0.89
	Min	42.18	Min	0.80	Min	97.15	Min	3.00	Min	42.18	Min	0.80
Imprecisão no compartilhamen- to da informação	Max	81.08	Max	0.81	Max	120.00	Max	3.00	Max	81.08	Max	0.81
	Med	62.23	Med	0.76	Med	114.14	Med	3.00	Med	62.21	Med	0.76
	Min	37.91	Min	0.72	Min	97.15	Min	3.00	Min	37.91	Min	0.72
Roteamento de transporte inadequado	Max	99.99	Max	1.00	Max	120.00	Max	3.00	Max	224.45	Max	1.00
	Med	79.20	Med	0.89	Med	85.99	Med	2.98	Med	109.38	Med	0.82
	Min	48.94	Min	0.56	Min	49.78	Min	2.70	Min	49.88	Min	0.00
Capacidade de transporte inadequada	Max	99.96	Max	1.00	Max	120.00	Max	3.00	Max	123.51	Max	1.00
	Med	77.95	Med	0.98	Med	105.00	Med	3.00	Med	79.02	Med	0.96
	Min	45.52	Min	0.80	Min	80.00	Min	3.00	Min	45.52	Min	0.00

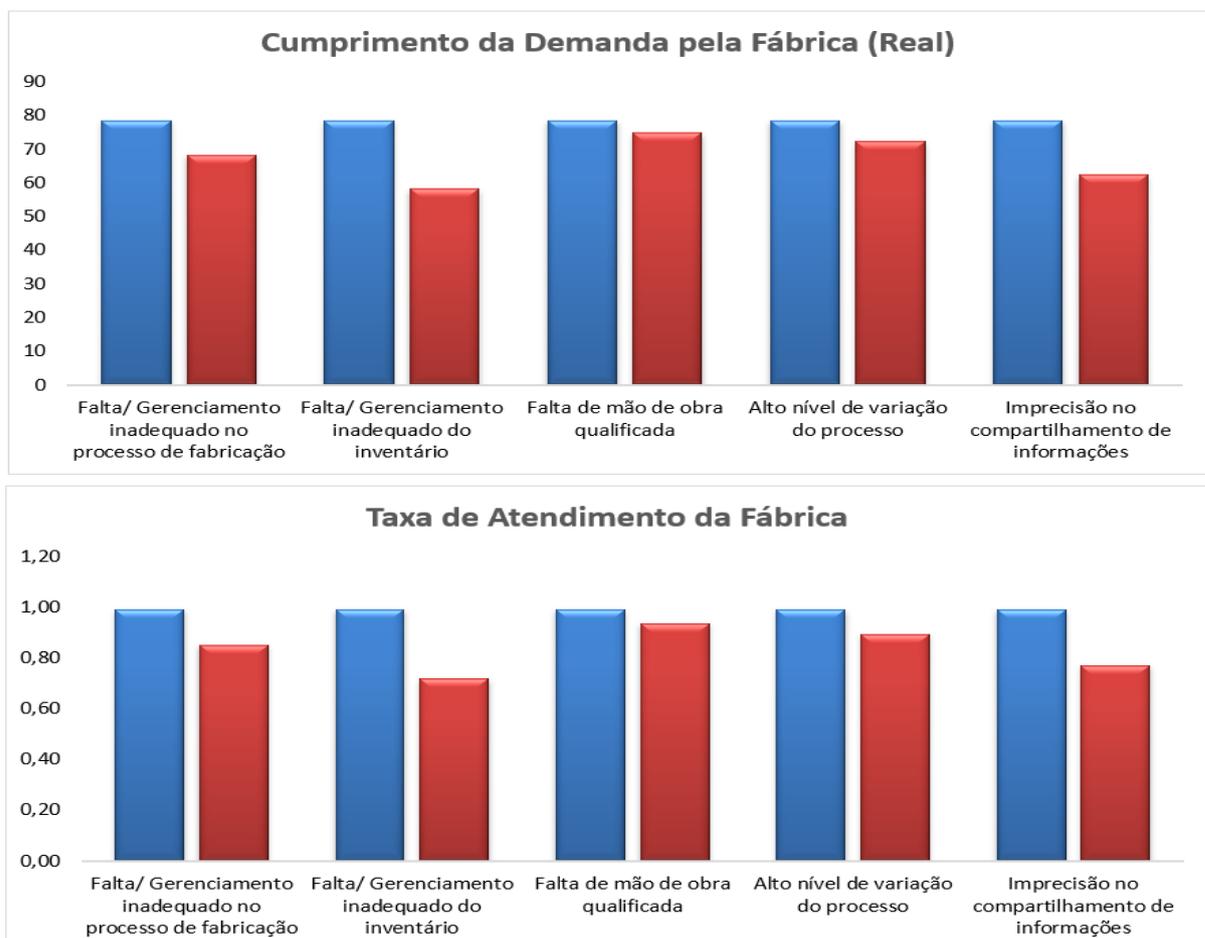
Roubo ou acidentes com carga	Max	99.99	Max	1.00	Max	120.00	Max	3.00	Max	99.99	Max	1.00
	Med	79.16	Med	0.99	Med	114.22	Med	3.00	Med	79.11	Med	0.70
	Min	48.93	Min	0.90	Min	99.78	Min	3.00	Min	48.93	Min	0.00
Dimensionamento do trajeto	Max	99.71	Max	1.00	Max	120.00	Max	8.90	Max	99.71	Max	1.00
	Med	79.18	Med	0.99	Med	114.45	Med	4.39	Med	79.15	Med	0.91
	Min	48.84	Min	0.90	Min	99.74	Min	2.99	Min	48.84	Min	0.00

Fonte: A autora (2020)

4.5.2 Simulação de cenários de mitigação de risco

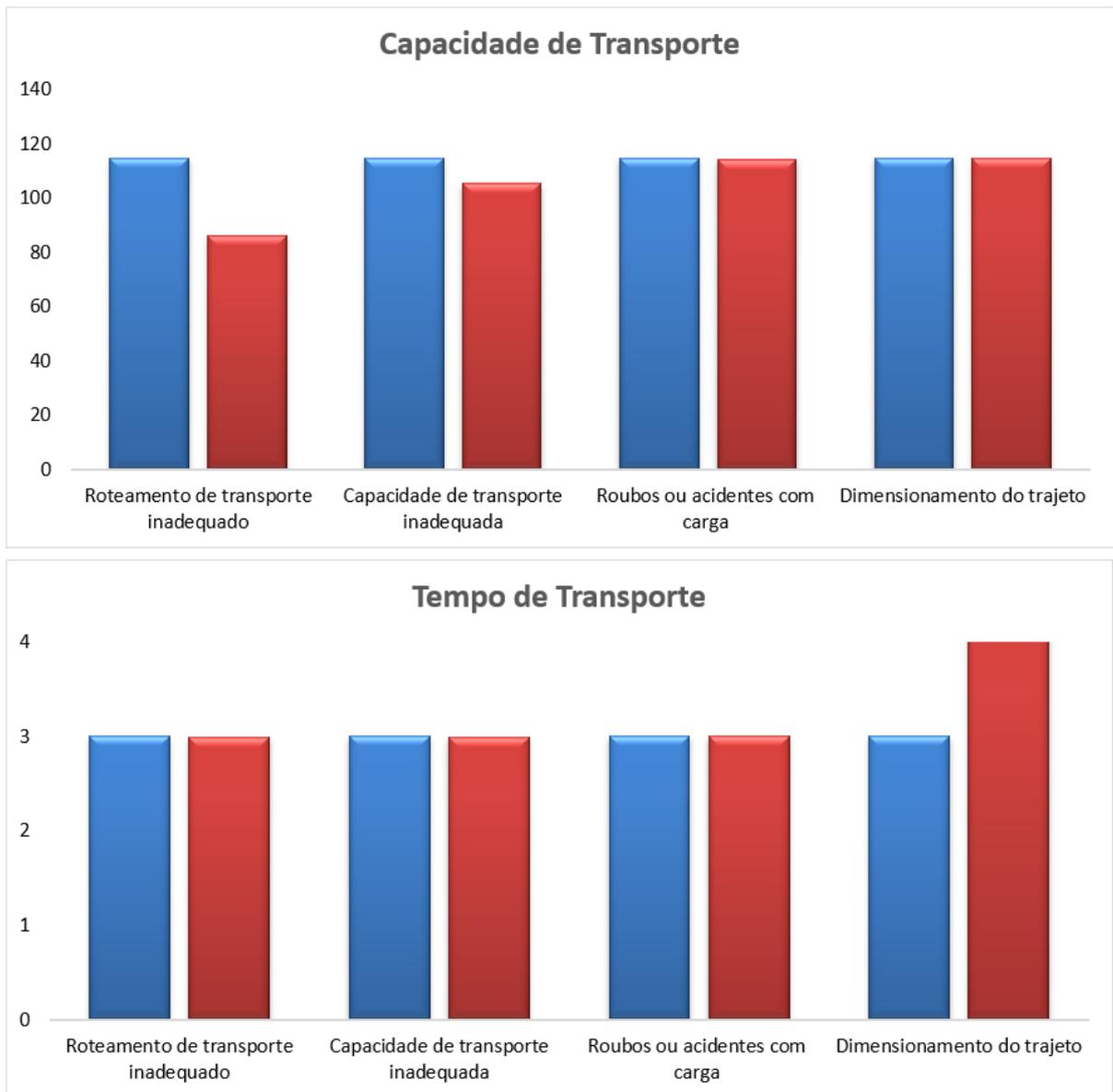
Um modelo de SD pode ser mudado constantemente a fim de utilizar-se de medidas de mitigações propostas, devendo ajudar o decisor a estimar o desempenho do sistema em diferentes situações de riscos (LI ET AL., 2015). Com base nas informações da tabela 2, as figuras 9, 10 e 11 expõem uma comparação dos valores médios entre o cenário base sem risco e os cenários de riscos mais afetados para as principais variáveis do modelo.

Figura 9 - Comparação de desempenho entre os cenários sem risco e com risco das variáveis de Cumprimento da demanda e Taxa de atendimento da fábrica



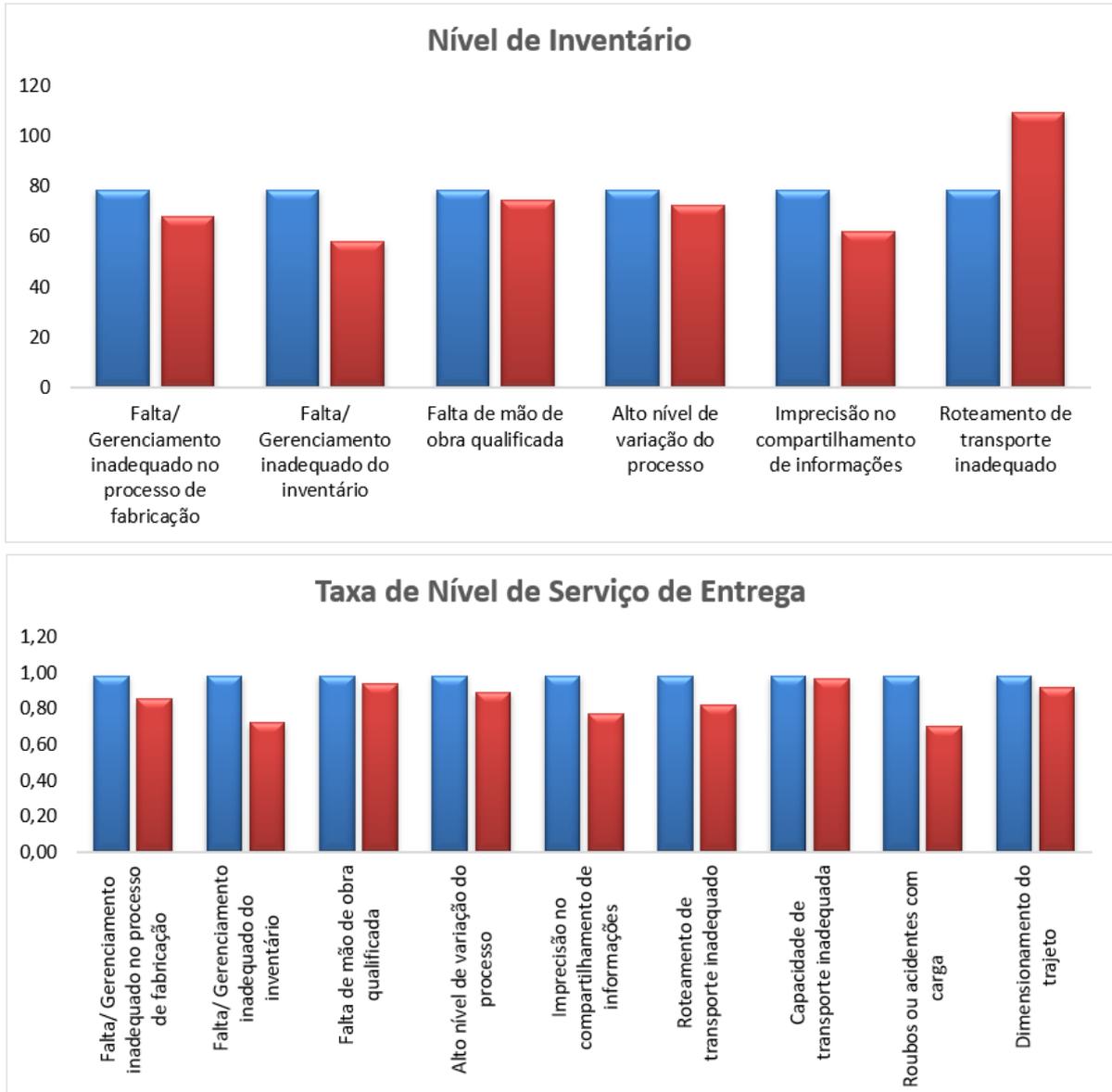
Fonte: A Autora (2020)

Figura 10 - Comparação de desempenho entre os cenários sem risco e com risco das variáveis de Capacidade de transporte e tempo de transporte



Fonte: A Autora (2020)

Figura 11 - Comparação de desempenho entre os cenários sem risco e com risco das variáveis de nível de inventário e taxa de nível de serviço de entrega



Fonte: A Autora (2020)

Nas figuras 9, 10 e 11 observam-se que cada cenário de risco apresentou gravidades de consequências diferentes para as variáveis como mostra a tabela 3.

Tabela 4 - Gravidade de consequência das variáveis prejudicadas pelos cenários de risco

Cenários	Variáveis afetadas	Percentual afetado
Falta/ Gerenciamento inadequado no processo de fabricação	Cumprimento da demanda pela fábrica (Real)	-13.18
	Taxa de atendimento da fábrica	-14.02

	Nível de inventário	-13.16
	Taxa de nível de serviço da entrega	-13.20
Falta/ Gerenciamento inadequado do inventário	Cumprimento da demanda pela fábrica (Real)	-25.94
	Taxa de atendimento da fábrica	-27.55
	Nível de inventário	-25.96
	Taxa de nível de serviço da entrega	-26.98
Falta de mão de obra qualificada	Taxa de atendimento da fábrica	-5.64
	Taxa de nível de serviço da entrega	-4.67
Alto nível de variação do processo	Taxa de atendimento da fábrica	-9.89
	Taxa de nível de serviço da entrega	-9.05
Imprecisão no compartilhamento de informações	Cumprimento da demanda pela fábrica (Real)	-20.69
	Taxa de atendimento da fábrica	-22.33
	Nível de inventário	-20.75
	Taxa de nível de serviço da entrega	-21.57
Roteamento de transporte inadequado	Capacidade de Transporte	-25.01
	Nível de inventário	39.33
	Taxa de nível de serviço da entrega	-16.35
Capacidade de transporte inadequada	Capacidade de Transporte	-8.13
	Taxa de nível de serviço da entrega	-1.87
Roubo ou acidentes com carga	Taxa de nível de serviço da entrega	-28.61
Dimensionamento do trajeto	Tempo de transporte	46.70
	Taxa de nível de serviço da entrega	-6.44

Fonte: A autora (2020)

Os cenários de falta/gerenciamento inadequado do inventário, imprecisão no compartilhamento de informações e roteamento de transporte inadequado são os mais graves a partir da tabela 3, existindo a princípio, três métodos de mitigação propostos: Aumento do cumprimento da demanda do cliente pela fábrica, aumento da capacidade de transporte e aumento da capacidade de infraestrutura. O primeiro método está correlacionado com os riscos internos da fábrica, já os outros dois últimos estão correlacionados com os riscos externos de

transporte e entrega dos produtos. Os métodos de cada caso de mitigação proposto estão na tabela 4.

De acordo com as soluções de mitigação sugeridas, os valores das variáveis dentro do sistema foram modificados para investigar os efeitos das mitigações. Em cada situação, os efeitos foram simulados em quatro cenários: um aumento de 10%, 20%, 30% e 40% dos valores dos parâmetros.

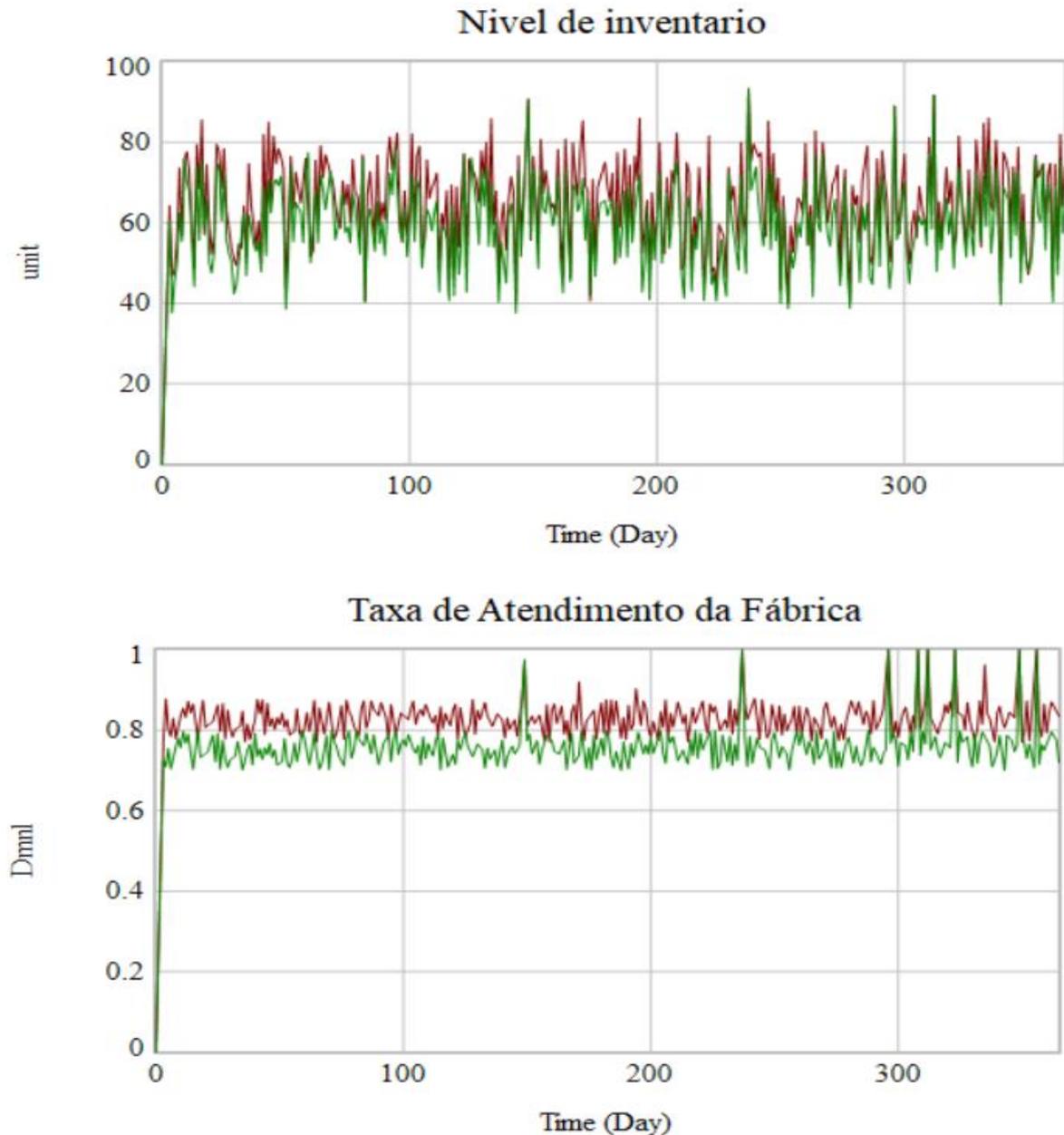
Tabela 5 - Métodos de mitigação de riscos sugeridos

Métodos de mitigação de risco	Conjunto de valores das variáveis	Descrição
Método 1: Aumentar o cumprimento da demanda do cliente pela fábrica	Situação atual	Distribuição normal
	Aumento do atendimento	Grau de aumento: 10%, 20%, 30% e 40%
Método 2: Aumentar a capacidade de transporte	Situação atual	Distribuição normal
	Aumento da capacidade	Grau de aumento: 10%, 20%, 30% e 40%
Método 3: Aumentar a capacidade de infraestrutura	Situação atual	Distribuição normal
	Aumento da capacidade	Grau de aumento: 10%, 20%, 30% e 40%

Fonte: A Autora (2020)

A figura 12 representa graficamente os resultados da simulação da taxa de atendimento da fábrica e do nível de inventário no cenário de aumento de 10% para o primeiro método proposto: Aumentar o cumprimento da demanda do cliente pela fábrica em comparação com o desempenho base do sistema com riscos. A linha verde representa o desempenho do sistema no cenário de riscos inicial; A linha vermelha representa o aumento do cumprimento da demanda do cliente pela fábrica em 10%.

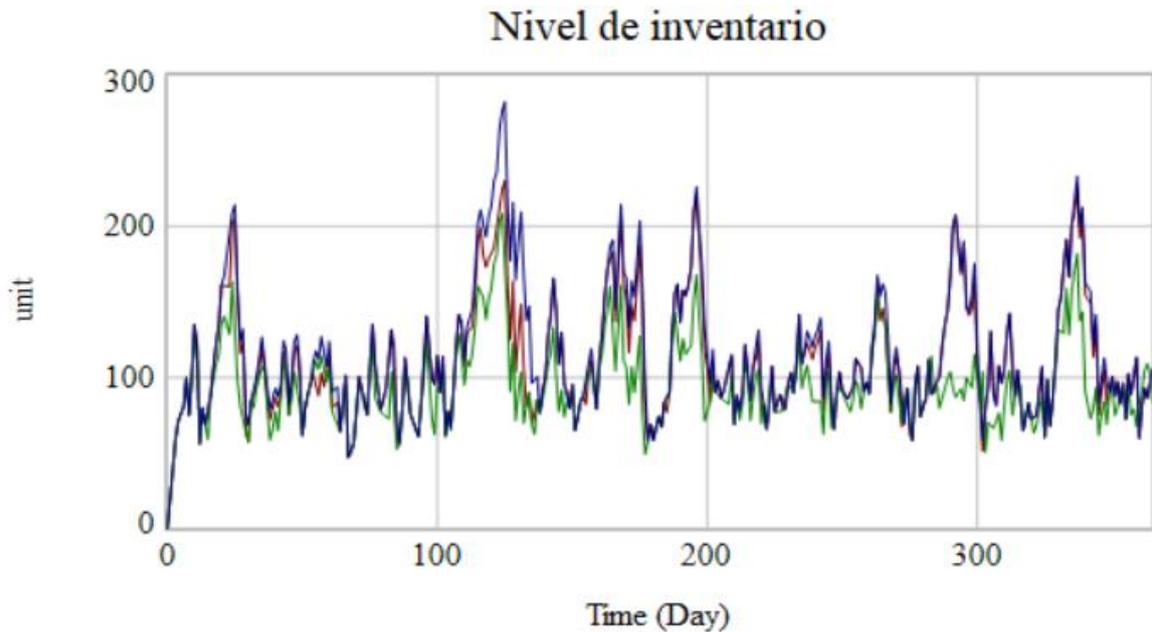
Figura 12 - Resultados da simulação comparativa entre o método 1 de mitigação de risco e o cenário de risco base



Fonte: A Autora (2020)

A figura 13 representa graficamente os resultados da simulação do nível de inventário no cenário de aumento de 10% para o segundo e terceiro método proposto em comparação com o desempenho base do sistema com riscos. A linha azul representa o desempenho do sistema no cenário de riscos inicial; A linha verde representa o aumento da capacidade de infraestrutura em 10%; A linha vermelha representa o aumento da capacidade do transportador em 10%.

Figura 13 - Resultados da simulação comparativa entre os métodos 2 e 3 de mitigação de risco e o cenário de risco base



Fonte: A autora (2020)

A simulação identificou que ambos os métodos poderiam melhorar significativamente o desempenho do sistema em termos da taxa de atendimento da fábrica e do nível de inventario. No entanto, os métodos de aumento do cumprimento da demanda do cliente pela fábrica e aumento da capacidade de infraestrutura absorveram melhor os impactos que os eventos perigosos poderiam causar. A tabela 5 apresenta a simulação dos métodos nos quatro cenários de mitigação de risco com um aumento dos parâmetros do sistema em 10%, 20%, 30% e 40% em comparação com o desempenho base do sistema com risco.

Tabela 6 - Efeito dos métodos de mitigação de risco aplicados

Método de mitigação de risco	Variáveis afetadas	10%	20%	30%	40%
Aumentar o cumprimento da demanda do cliente pela fábrica	Nível de inventário	9.52	19.22	28.03	31.69
	Taxa de atendimento da fábrica	9.55	19.15	28.00	31.66
Aumentar a capacidade de transporte	Nível de inventário	-5.06	-8.36	-12.18	-12.98
Aumentar a capacidade de infraestrutura	Nível de inventário	-18.08	-26.29	-29.89	-31.28

Fonte: A autora (2020)

A aplicação dos três métodos diferentes de mitigação de riscos aumentou a resiliência da cadeia de suprimentos e amortizou a gravidade de consequência dos eventos perigosos. A tabela 6 apresenta um compilado dos dados presentes nas tabelas 3 e 5, relacionando as informações obtidas na simulação dos três cenários de riscos que apresentaram maiores gravidades de consequências para o sistema e suas respectivas mitigações.

Tabela 7 – Comparação entre os cenários de riscos mais afetados e os métodos de mitigação aplicados

Cenário de risco	Variáveis afetadas	Percentual afetado	Método de mitigação de risco	Cenário de mitigação	Percentual mitigado
Falta/ Gerenciamento inadequado do inventário	Nível de inventário	-25.96	Aumentar o cumprimento da demanda do cliente pela fábrica	30%	28.03
	Taxa de atendimento da fábrica	-27.55		30%	28.00
Imprecisão no compartilhamento de informações	Nível de inventário	-20.75	Aumentar o cumprimento da demanda do cliente pela fábrica	20% a 30%	19.22 a 28.03
	Taxa de atendimento da fábrica	-22.33		20% a 30%	19.15 a 28.00
Roteamento de transporte inadequado	Nível de inventário	39.33	Aumentar a capacidade de infraestrutura	40%	-31.28

Fonte: A Autora (2020)

Através da tabela 6, conclui-se que para o decisor que utilizar o presente estudo será necessário definir qual o plano de mitigação que melhor enquadra-se ao cenário de custo/benefício da cadeia na qual o gerenciamento de risco está sendo aplicado. Pois, por exemplo, para o cenário de risco de imprecisão no compartilhamento de informações, a mitigação entre 20% e 30% amortizou completamente a gravidade de consequência ao qual as variáveis foram submetidas, entretanto em termo de decisões gerenciais, indica-se a aplicação de um plano gradativo de mitigação, analisando e avaliando os feedbacks das ações aplicadas de acordo com o comportamento e poder de reação de cada variável afetada e com os objetivos estratégicos da organização modelada no sistema.

4.6 IMPLICAÇÕES GERENCIAIS

Abordando o campo gerencial dos riscos dentro de uma cadeia de suprimentos e os efeitos das decisões tomadas também no nível estratégico, é possível compreender que uma gestão eficiente de identificação e mitigação de eventos perigosos impacta de forma favorável o desempenho de uma cadeia de suprimento.

Quanto maior o nível de identificação dos efeitos dinâmicos causados por eventos perigosos dentro de uma cadeia de suprimentos mais eficiente será a compreensão das necessidades de mitigação e precauções e conseqüentemente melhor será o indicador de nível de serviço ao cliente, além dos ganhos relacionados a redução de custo e a velocidade de atendimento entre os elos da cadeia.

O uso eficiente de sistemas dinâmicos para simular e analisar o desempenho de uma cadeia de suprimentos ajuda a descrever as conexões entre os riscos e as alterações associadas ao comportamento do sistema. Uma vez que a modelagem e a simulação múltipla permitem quantificar o desempenho do sistema, as melhorias tornam-se inúmeras e as tomadas de decisões tornam-se primordiais.

Compreender o desempenho do sistema em diferentes cenários de riscos beneficia a tomada de decisão de curto e longo prazo, facilitando, por exemplo, o gerenciamento dos níveis de inventário na medida em que os *loops* de *feedbacks* retornam os impactos ocorridos entre os *loops* lógicos do sistema, aumentando giros de estoque dos produtos fornecidos ou necessários para o funcionamento de uma rede de suprimentos. Porém para que esse efeito seja alcançado é necessário o envolvimento e aprovação da alta gerencia, com o objetivo de alinhar expectativas do que se deseja alcançar com as mitigações de cenários de riscos e dos esforços necessários para se construir ou aprimorar um modelo que levará informação a todos os participantes da cadeia.

Por este motivo, buscou-se com os resultados apresentados no trabalho, validar o uso de ferramentas mais robustas envolvendo simulações de sistemas dinâmicos e auxiliar no direcionamento do tomador de decisão. Auxiliando na garantia do cumprimento do nível de serviço, no controle dos níveis de estoque, redução de custos, e em uma maior responsividade na cadeia de suprimentos. Particularidades essas, que são mais facilmente alcançadas através da aplicação de metodologias quantitativas que agregam valor e dão uma maior solidez no campo do planejamento das operações.

5 CONCLUSÃO

Analisar, simular e aplicar sistemas dinâmicos qualitativos e quantitativos ao gerenciamento de riscos de uma cadeia de suprimentos dever ser uma atividade primordial e presente nas funções desempenhadas por departamentos de planejamento e operações, oferecendo a solução de problemas ora imediatos ora crônicos e fornecendo uma visão eficiente de como os riscos se comportam e se modificam ao longo de um determinado período.

Trabalhar com métodos de gerenciamento de riscos em uma cadeia não é mais um diferencial competitivo e sim uma atitude imprescindível para o sucesso e longevidade dos negócios, vindo a ditar o poder de reação e a adaptabilidade do sistema ao meio que está inserido. Por esta razão sugere-se a aplicação de métodos dinâmicos na identificação e mitigação de riscos em uma cadeia de suprimentos.

Este trabalho utilizou métodos dinâmicos e simulações computacionais para identificar e mitigar riscos existentes nas etapas de concepção dos produtos, transporte e distribuição de uma cadeia de suprimentos. Observou-se que a ocorrência de um evento perigoso interrompe o fluxo de operações dentro do SC e tem efeitos negativos, tornando-se necessário a introdução de um método analítico em um sistema dinâmico e mutável que proporcionará uma avaliação eficaz do desempenho da cadeia.

Foi avaliado neste trabalho se a aplicação de métodos de mitigação de riscos poderia vir a agregar valor ao processo de tomada de decisão no que se refere as tarefas de planejamento das operações. Sendo possível, portanto, com a aplicação do SCRM, definir e validar que a resiliência do sistema aumenta a cada estratégia de mitigação aplicada e que a gravidade de consequência dos riscos diminui proporcionalmente, validando que a ideia de que o método de estudo pode ser aplicado em várias atividades de planejamento.

Ressalta-se que o trabalho realizado serve como base para o desenvolvimento de novos modelos de SCRM, onde tais trabalhos deverão abranger de forma mais eficiente e gradual análises complexas das relações de custo/benefício entre métodos de mitigação, além de uma análise qualitativa do tomador de decisão e sua equipe, pois o *know-how* é de suma importância para o sucesso de qualquer modelo. Desta maneira é esperado que o modelo proposto possa contribuir para novas pesquisas na área.

Por fim, conclui-se que o método SCRM baseado em SD é generalizado e tem potencial de ser uma ferramenta de tomada de decisão e melhoria contínua no desempenho referente à cadeia de suprimentos e de mitigação de riscos em diferentes setores da indústria.

REFERÊNCIAS

BALLOU, R. H. **Gerenciamento da cadeia de suprimentos – Planejamento, Organização e Logística empresarial**. Porto Alegre: Bookman, 2006.

BEHZADI, G.; O’SULLIVAN, M.; OLSEN, T.; ZHANG, A. **Agribusiness supply chain risk management: A review of quantitative decision models**. *Omega* 2017; 000(2017): 1-22.

BOULOIZ, H.; GARBOLINO, E.; TKIOUAT, M.; GUARNIERI, F. **A system dynamics model for behavioral analysis of safety conditions in a chemical storage unit**. *Safety Science* 2013; 58(2013):32–40.

CHOPRA, S.; MEINDL, P. **Gestão da cadeia de suprimentos: estratégia, planejamento e operações**. 4ª Ed. Pearson, 2011.

CHU, C.; PARK K.; KREMER G. **A global supply chain risk management framework: An application of text-mining to identify region-specific supply chain risks**. *Advanced Engineering Informatics* 2020; 45(2020): 101053

DONG, Q.; COOPER, O. **An orders-of-magnitude AHP supply chain risk assessment framework**. *International journal of production economics* 2016; 182(2016): 144-156.

FAN, H.; LI, G.; SUN, H.; CHENG, T. **An information processing perspective on supply chain risk management: Antecedents, mechanism, and consequences**. *International journal of production economics* 2017; 185(2017): 63-75.

FORRESTER, JW.; SENGE, P. **Tests for building confidence in system dynamic models**. *TIMS stud manag sci* 1980; 14(1980):209-228.

GERHARDT, T.; SILVEIRA, D. **Métodos de Pesquisa**, 1 ed. Porto Alegre: UFRGS, 2009

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4.ed. São Paulo: Atlas, 2002

KERN, D.; MOSER, R.; HARTMANN, E.; MODER, M. **Supply risk management: Model development and empirical analysis**. *International journal of physical distribution & logistics management* 2012; 42(2012): 60-82.

LI, C.; REN, J.; WANG, H. **A system dynamics simulation model of chemical supply chain transportation risk management systems**. *Computers and chemical engineering* 2016; 89(2016): 71-83.

LOU Y.; FENG L.; HE S.; HE Z.; ZHAO X. **Logistics service outsourcing choices in a retailer-led supply chain**. *Transportation Research Part E* 2020; 141(2020): 101944.

MATANA, G.; SIMON, A.; FILHO, M.; HELLENO, A. **Method to assess the adherence of internal logistics equipment to the concept of CPS for industry 4.0.** International Journal of Production Economics 2020; 228(2020): 107845

MENSAH, P.; MERKURYEV, Y.; KLAVINS, E.; MANAK, S. **Supply chain risks analysis of a logging company: Conceptual model.** Procedia computer science 2017; 104(2017): 313-320.

MUNIR, M.; JAJJA M.; CHATHA K.; FAROOQ S. **Supply chain risk management and operational performance: The enabling role of supply chain integration.** International Journal of Production Economics 2020; 227(2020): 107667

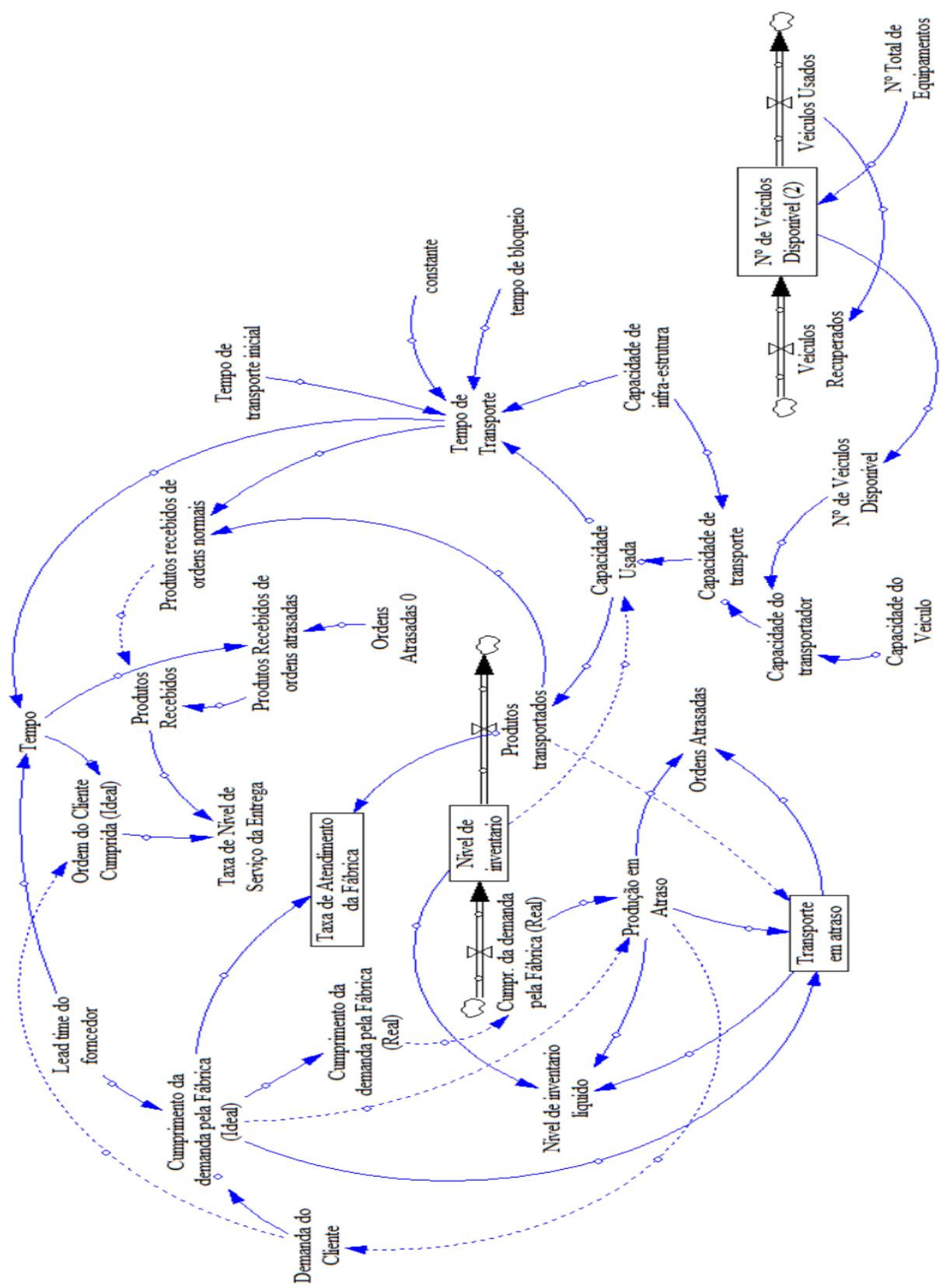
PRAKASH, A.; AGARWAL, A.; KUMAR, A. **Risk assessment in automobile supply chain.** Materials today: Proceedings 2018; 5(2018):3571- 3580.

RAJAGOPAL, V.; VENKATESAN, S.; GOH, M. **Decision-making models for supply chain risk mitigation: A review.** Computers & industrial engineering 2017; 113(2017): 646-682.

HO, W.; ZHEBG, T.; YILDIZ, H.; TALLURI, S. **Supply chain risk management: A literature review.** International journal of production research 2015; 53(2015):5031-5069.

YEO, G.; PAK, J.; YANG, Z. **Analysis of dynamic effects on seaports adopting port security policy.** Transportation Research A – Policy Pract 2013; 49(2013):285–301.

APÊNDICE A - DIAGRAMA DE ESTOQUE E FLUXO DO TRANSPORTE DE UMA CADEIA DE SUPRIMENTOS



APÊNDICE B - DIAGRAMA DE ESTOQUE E FLUXO DO TRANSPORTE DE UMA CADEIA DE SUPRIMENTOS AFETADO PELO RISCO

