

ANDRÉ LUIS HIRSCHFELD DANILA

ANÁLISE DE RISCO DE FALHAS NA CADEIA DE
SUPRIMENTOS DE UMA MONTADORA DE AUTOMÓVEIS.

São Paulo
2008

ANDRÉ LUIS HIRSCHFELD DANILA

**ANÁLISE DE RISCO DE FALHAS NA CADEIA DE
SUPRIMENTOS DE UMA MONTADORA DE AUTOMÓVEIS.**

Monografia apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São
Paulo relacionado à Disciplina PMR
2550 – Projeto de Conclusão de Curso
II.

Curso de Graduação:
Engenharia Mecatrônica

Orientador:
Prof. Dr. Gilberto Francisco Martha de
Souza

São Paulo
2008

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Doutor Gilberto Francisco Martha de Souza, pela paciente e estimulante orientação na realização desta Monografia, pela amizade e apoio, além dos constantes ensinamentos e conselhos que me fizeram perceber o quão fascinante pode ser o aprendizado e a busca por soluções para os problemas colocados.

Aos Professores Doutores Lucas Antonio Moscato e Edson Gomes, pelo estímulo e conselhos, além das valiosas considerações que muito me auxiliaram na realização desta Monografia.

Aos Professores Doutores Hugues Molet e Eric Ballot, e em especial ao Professor Frédéric Fontane, por me apresentarem e ajudarem a desvendar o instigante campo da logística.

À minha família por toda a compreensão, apoio e incentivo durante este período.

E a todos que colaboraram direta ou indiretamente na execução deste trabalho.

RESUMO

Com a crescente diversificação e personalização de produtos em todos os setores industriais, em especial na indústria automobilística, a importância da cadeia de suprimentos tem crescido, tanto do ponto de vista estratégico quanto de custos. Este último, por sua vez, é dividido entre os custos de operação da cadeia de suprimentos e os custos de suas disfunções. Para traçar a linha tênue entre investimentos em robustez da cadeia de suprimentos e as disfunções da mesma, é utilizada a técnica de análise de risco, em que se calcula o custo médio das disfunções em um ano. Este trabalho objetiva indicar aonde investir esforços para reduzir os custos associados à ocorrência de falhas no abastecimento da cadeia de suprimentos. Depois de uma introdução teórica ao problema, este trabalho desenvolve um modelo de análise de risco associado à cadeia de suprimentos e aplica-o a um caso exemplo, em que se identificam os pontos críticos do funcionamento da cadeia de suprimentos de um produto automotivo. Isso é realizado detalhando-se o risco como o produto das probabilidades pelas consequências indesejadas das falhas. Os resultados mostram que o modelo proposto não só é eficaz na gestão de risco, mas também é facilmente aplicável a quaisquer montadoras de automóveis e pode ser adaptado a outras indústrias.

Palavras-chave: Análise de risco. Cadeia de suprimentos. Supply Chain. Montadora de Automóveis. Abastecimento. Indústria automotiva.

ABSTRACT

With the increasing diversification and customization of products across the industry, and particularly in the automotive industry, the importance of Supply Chain has grown from a strategic and cost perspective. The latter is composed of operational costs and dysfunction costs. To help decide how much should be invested to strengthen the robustness of the Supply Chain in order to reduce costs, the technique of Risk Analysis is used in which the expected annual dysfunction costs are evaluated. This paper intends to indicate where to invest in order to decrease supply chain dysfunction costs. After a theoretical introduction to the problem, this paper develops an analysis procedure and applies it to an example case, in which the critical points of Supply Chain dysfunctions of an automotive product are identified. This is done by calculating risk as the product between failure probabilities and consequences. The results show that the procedure not only is effective in risk management, but also can be easily applied to other car manufacturers and adapted to other industries.

Keywords: Risk Analysis. Supply Chain. Car manufacturer. Automaker. Supply. Automotive industry.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Fluxo parcial de materiais e informações na cadeia de suprimentos automotiva	3
Figura 2: Modelo de cadeia Logística	4
Figura 3: Ciclo de produção de um automóvel	8
Figura 4: Árvore de Eventos recepção de fechadura defeituosa	16
Figura 5: Árvore funcional para a recepção de fechaduras conformes.....	17
Figura 6: Matriz Freqüência X Conseqüência e perfis de risco	19
Figura 7: Procedimento para análise de risco	21
Figura 8: Procedimento para realização do FMEA	24
Figura 9: Árvore Funcional para a cadeia de suprimentos de uma Montadora	27
Figura 10: Custo de parada da linha de montagem em função do tempo	35
Figura 11: Árvore de Eventos para Recepção de um volante defeituoso	39
Figura 12: Arvore funcional com valores de risco do exemplo	44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Análise de Modos e Efeitos de Falha para o exemplo da fechadura	23
Tabela 2: Símbolos utilizados na árvore de falhas	26

SUMÁRIO

1 Introdução.....	1
1.1 Considerações Iniciais.....	1
1.2 Objetivo.....	2
1.3 Metodologia	2
2 Fundamentos Teóricos.....	3
2.1 Cadeia de suprimentos.....	3
2.2 Análise de risco	14
3 Modelo de análise	27
3.1 Cálculo das Probabilidades	28
3.2 Cálculo das consequências.....	33
4 Caso exemplo	37
4.1 Análise de risco para o caso exemplo.....	38
4.2 Resultados e Gerenciamento de risco do caso exemplo ..	43
4.3 Análise de sensibilidade do modelo no caso exemplo	45
5 Conclusões e Recomendações	47
5.1 Conclusões	47
5.2 Recomendações para trabalhos futuros.....	48

1 Introdução

1.1 Considerações Iniciais

Cada vez mais a globalização tem se mostrado importante no mundo atual, e não é só o mundo da informação que mudou completamente. Coube também ao mundo industrial a sua plena adaptação, com uma crescente instalação de fábricas nos chamados “países em desenvolvimento”, para se aproximarem dos clientes e diminuir os custos logísticos e de produção.

Entretanto, nem todas as empresas estão preparadas para essa nova tendência mundial. Com a crescente diversificação de produtos disponíveis ao consumidor final, instalou-se um caos logístico no suprimento e na distribuição desses produtos. Além disso, em um mundo internacional, no qual coexistem relações de parcerias, Joint Ventures, filiais etc., várias dificuldades se somam às anteriormente citadas. Nota-se a complexidade existente ao instalar uma nova fábrica em um novo país, e aumentar sua cadência de produção até os valores planejados já que, além de choques culturais, freqüentemente se encontra uma infra-estrutura precária, especialmente na área logística. Outra problemática que surge é advinda da distância entre fornecedores – muitas vezes no país sede – e as fábricas no novo país, não só porque os custos e tempo de transporte são maiores, mas também devido à freqüência do uso de aviões para transportes emergenciais de peças, em casos de disfunções logísticas.

Dessa forma, a importância das falhas na cadeia de suprimentos tem crescido à medida que tanto a freqüência de ocorrência quanto a consequência destas falhas têm aumentado, o que ressalta a importância deste trabalho.

1.2 Objetivo

O objetivo deste trabalho é modelar o risco de falhas na parte de abastecimento da cadeia de suprimentos típica de uma montadora.

As questões que toda Direção Logística se pergunta são: O que é risco em uma cadeia de suprimentos? Como quantificar tal fenômeno? Quais são os parâmetros que definem o risco das falhas na cadeia de suprimentos? Como modificá-los? Estas são as principais perguntas para as quais este trabalho pretende encontrar uma resposta.

1.3 Metodologia

Para tanto serão utilizados os conceitos de análise de risco tradicionalmente empregados em estudos sobre falhas em plantas industriais. A partir do uso destes conceitos desenvolve-se um modelo de análise de risco para uma cadeia de suprimentos envolvendo a produção, transporte e montagem dos componentes em plantas distintas.

2 Fundamentos Teóricos

2.1 Cadeia de suprimentos

Segundo (GAITHER; FRAZIER, p. 427), “uma cadeia de suprimentos refere-se à maneira pela qual os materiais fluem através de diferentes organizações, iniciando com as matérias-primas e encerrando com produtos acabados entregues ao consumidor final.”

Para explicar a cadeia de suprimentos em detalhe em detalhe, será considerado o exemplo da parte da cadeia de suprimentos que envolve a biela de um motor. Inicialmente uma companhia mineradora extrai o minério de ferro do solo e o revende a uma Siderúrgica, que o transforma em aço. Este aço é em seguida passado a outra Siderúrgica que realiza a fundição produzindo uma biela em estado bruto. Esta peça chega à fábrica de motores, que realiza uma usinagem na biela e a monta em um motor. Este é em seguida encaminhado à montadora de automóveis, que produz um veículo. Este é direcionado a uma concessionária que vende o automóvel ao consumidor final. A Figura 1 esquematiza esta parte da cadeia de suprimentos. As flechas azuis da esquerda para a direita indicam o fluxo de materiais, enquanto a informação (comandas, previsões etc.) flui no sentido inverso.

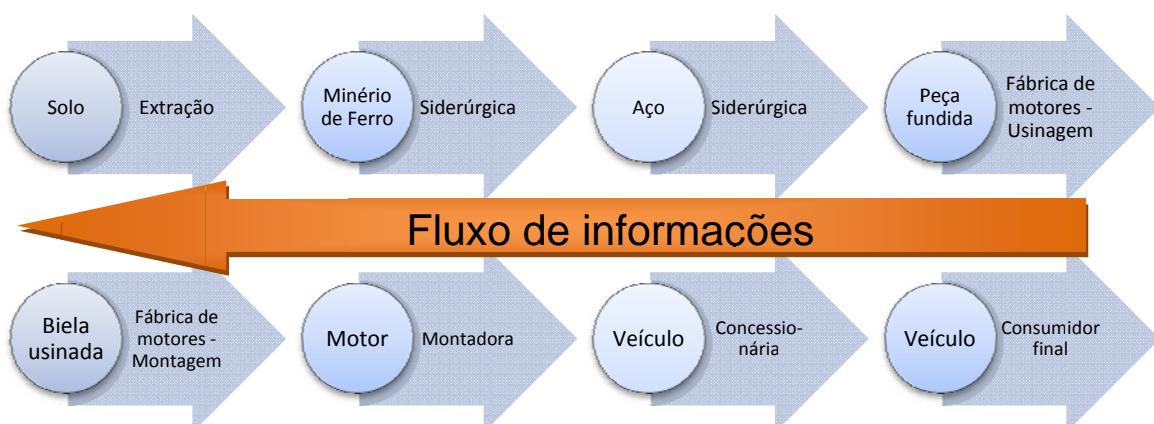


Figura 1: Fluxo parcial de materiais e informações na cadeia de suprimentos automotiva

A Figura 1 mostra o fluxo de materiais e informações seguindo uma das possibilidades. Na verdade, a cadeia de suprimentos é constituída de diversos fluxos entre os diversos atores. Se considerarmos apenas uma fábrica montadora, os fluxos são convergentes até a chegada da fábrica, já que esta se abastece com vários fornecedores de primeira camada, que, por sua vez, se abastecem com ainda mais fornecedores de segunda camada. Os fluxos na parte de distribuição são divergentes, já que a montadora distribui para várias concessionárias, que, por sua vez, distribuem veículos a um número ainda maior de consumidores finais.

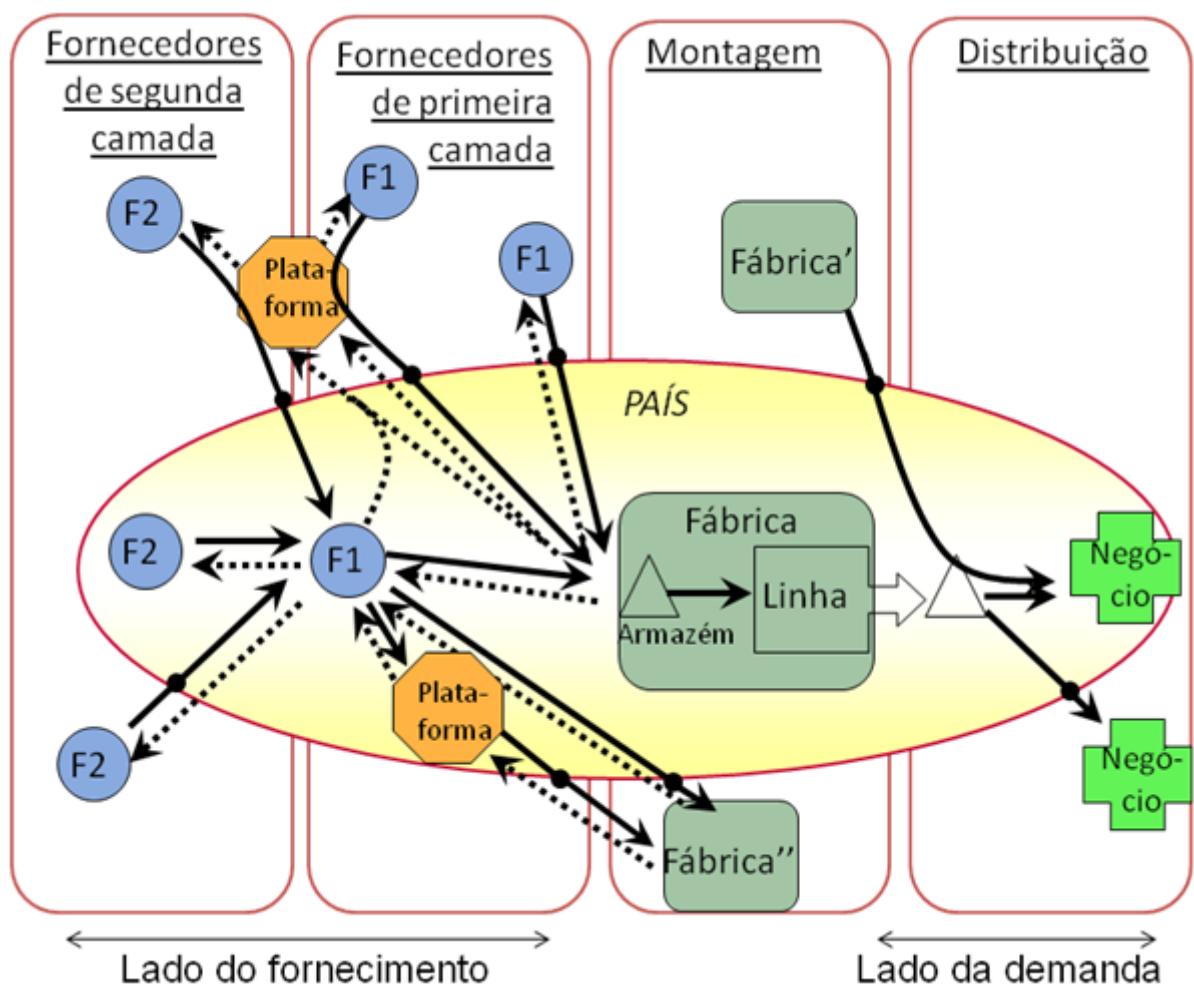


Figura 2: Modelo de cadeia Logística

Do ponto de vista de fluxos logísticos, para cada ator existem a compra de matéria prima, a fabricação, a expedição dos produtos aos clientes, a logística e o transporte. No esquema, o fluxo físico está indicado com flechas cheias e os fluxos de informação (comandas, previsões etc.) com flechas pontilhadas.

Isto gera um conjunto de fluxos de materiais e informações muito complexo. A Figura 2 esquematiza a cadeia de suprimentos da indústria automobilística, que é composta por diversos atores locais e internacionais. Neste esquema devem-se observar os fluxos logísticos que cruzam a fronteira do país da fábrica montadora e notar como a internacionalização intensifica a possibilidade de problemas de ordem logística.

2.1.1 Atores

Entrando mais em detalhe, os principais atores da cadeia de suprimentos automotiva são:

As **Unidades de Negócio**: são as concessionárias e revendedores, responsáveis pelo escoamento da produção aos clientes finais.

As **Fábricas Montadoras**: efetuam a montagem do veículo a partir de peças aprovisionadas de diversos fornecedores. A produção fica temporariamente em um grande estacionamento (estoque) para ser em seguida escoada à rede de negócios. As Fábricas Montadoras agregam em geral em torno de 30% do valor de um automóvel, e o principal problema nesta fase é a logística. Em geral, para montar um veículo específico são necessárias mais de mil peças, e para se fabricarem todos os veículos de uma fábrica, trabalha-se com um número de peças da ordem de dezenas de milhares de peças distintas.

Os **Sistemistas ou fornecedores de primeira camada** são fornecedores situados próximo às Fábricas de Montagem e são responsáveis pela montagem de subconjuntos de peças para facilitar o trabalho nas Fábricas de Montagem. Um exemplo de subconjuntos produzidos pelos Sistemistas são os motores e caixas de câmbio, que são compostos por diversas peças. Alguns fornecedores são chamados **síncronos** por entregarem peças diretamente na linha de montagem da fábrica, na ordem correta de montagem e no tempo correto.

Os **Fornecedores de segunda camada** são os fornecedores de peças aos Sistemistas. No exemplo acima, os fornecedores de peças fundidas, cames e eixos de árvore são Fornecedores de segundo nível.

Os **Centros ou Plataformas de Agrupamento** ilustrados na Figura 2 são fábricas puramente logísticas que recebem peças de fornecedores, preparam kits de peças e as expedem a outras fábricas.

As **Transportadoras** realizam somente o transporte, que é em geral terceirizado. A responsabilidade pelos fluxos logísticos e outras otimizações é normalmente de responsabilidade da montadora.

2.1.2 Principais Conceitos

Nesta seção os principais conceitos referentes à cadeia de suprimentos serão brevemente expostos.

Fluxo puxado: O fluxo puxado é caracterizado por ser iniciado pela demanda. Desta forma, um pedido implica a fabricação de um produto, que é feito de acordo com as especificações do pedido. Como vantagens, têm-se a não manutenção de estoques e a possibilidade de oferecer uma maior customização ao cliente.

Fluxo forçado ou empurrado: oposto ao fluxo puxado, ele é iniciado por previsões de vendas e seu objetivo é a criação de estoques. Uma das vantagens em relação ao fluxo puxado é a diminuição do tempo de espera para que um produto esteja disponível ao cliente. Outra vantagem é a visibilidade do consumo futuro de peças, o que permite passar previsões de consumo aos fornecedores que, por sua vez, diminui a chance de ruptura no abastecimento de peças.

Just-in-time: estratégia que visa à redução de custos e o aumento da reatividade da produção. Ela consiste em produzir e disponibilizar produtos e componentes somente quando necessário, nem antes e nem depois. Desta forma, diminuem-se rupturas de abastecimento, reduzem-se os estoques e os custos em geral. Esta estratégia deve ser implementada somente onde for aplicado o fluxo puxado, e é o caso da produção e entrega de pára-choques pelos fornecedores Sistemistas na fábrica montadora.

Hoje em dia, o consumidor de um automóvel deseja comprar um carro tendo muitas opções de escolha, mas ele não quer esperar a chegada do produto. Isto causa um conflito entre as duas filosofias de fluxo puxado e forçado.

Uma solução encontrada foi a **diferenciação tardia**: os projetos de engenharia foram concebidos para que a produção de um automóvel seja padronizada até o mais tarde possível na cadeia produtiva, utilizando-se assim o fluxo forçado de forma a otimizar o tempo de fabricação, e realizar uma customização final, utilizando o fluxo puxado, para que o cliente tenha várias opções de escolha. Sendo assim, quanto mais tarde for realizada a diferenciação, mais se podem aproveitar as vantagens produtivas do fluxo forçado.

Na Figura 2 podem-se notar as regiões do lado do fornecimento e do lado da demanda. Assim, a cadeia de suprimentos no ramo automotivo é mista, começando com um fluxo forçado para a fabricação da parte indiferenciada do automóvel e terminando com a configuração final deste segundo os pedidos dos clientes, seguindo o conceito de diferenciação tardia.

Quanto à parte de fluxo forçado, é possível emitir estimativas de consumo de peças, que são essenciais para otimizar a produção dos fornecedores, o que permite a redução de preços das peças à montadora. Essas estimativas são chamadas também de previsão ou consumo previsto.

Em geral, as montadoras definem um **filme de veículos**, que é uma lista ordenada de veículos completamente definidos (advindos das comandas dos clientes, concessionárias ou gerados pela montadora) com data e hora precisas de passagem pela linha de produção. Este filme é em geral da ordem de grandeza de uma semana e não pode ser modificado pela montadora, de forma a auxiliar os fornecedores, e em particular os fornecedores síncronos.

Assim, a Fábrica de Montagem tem visibilidade completa dos veículos que serão produzidos no curto prazo, tanto em termos de volume¹ quanto em termos de mix². A Central de Comandas envia também um planejamento provisório a médio e longo prazo. Este planejamento é, em geral, correto em volume, mas aproximado em mix para o médio prazo e aproximado para volume e mix no longo prazo.

Agora, torna-se necessário o conhecimento do **ciclo de produção de um automóvel**, ilustrado na Figura 3. Inicialmente, um cliente efetua uma comanda em uma unidade de negócio ou concessionária. Em seguida, a Central de Comandas da

¹ Volume: número de veículos a serem produzidos.

² Mix: distribuição dos veículos a serem produzidos em termos de especificações mais finas, como cor, presença de ar condicionado, airbag, ABS, motor diesel ou gasolina etc.

Montadora recebe o pedido e o agrupa com outros de forma a otimizar o processo produtivo sem prejudicar excessivamente o prazo de entrega do veículo pedido, demorando em média uma semana para esta etapa. Desta forma, a Central de Comandas gera o filme de veículos de uma semana aproximadamente. Por fim, depois da produção do veículo, este é distribuído, o que leva em torno de uma semana também. O tempo do ciclo é portanto de três semanas aproximadamente.

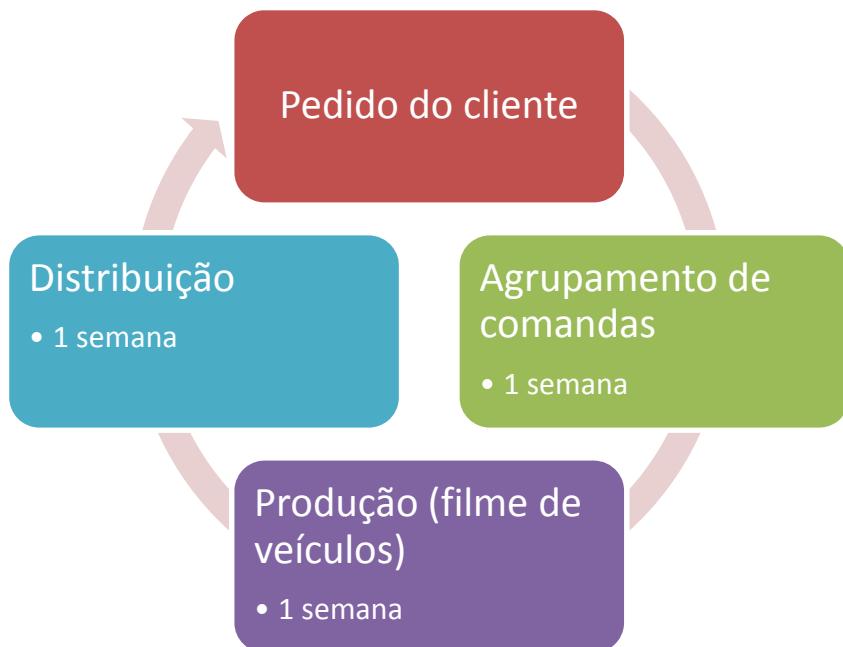


Figura 3: Ciclo de produção de um automóvel

Vale notar que não só o cliente pode efetuar comandas, mas também, o que é até mais freqüente, as concessionárias comandam o que imaginam que seus clientes vão querer comprar, em geral incentivadas a proceder desta forma por incentivo das montadoras e para terem veículos prontos para os clientes. Caso não hajam pedidos, a Central de Comandas pode emitir pedidos para não diminuir a produção.

Dados os altos custos de produção e a precisão com que ela é feita, pequenas alterações implicam custos enormes. Em geral, **paradas imprevistas na linha de produção** são consideradas eventos graves e de alto custo, mesmo se esta parada for de apenas um minuto. Os cálculos de custo para estas disfunções são variáveis e dependem de muitos fatores.

Justamente por este alto custo de parada na linha de produção, se houver ruptura no aprovisionamento de uma determinada peça, pode ser rentável o envio

de um **taxi**, que é um transporte emergencial de peças. Os taxis podem ser veículos rápidos, helicópteros ou até aviões. O registro do envio de taxis é um bom indício de que houve disfunções na cadeia de suprimentos.

Para prevenir a parada da linha de montagem uma das técnicas mais simples e usuais é o estabelecimento de um **estoque de segurança**. Este estoque consiste de algumas peças que são estocadas na fábrica além daquelas que serão usadas na produção do dia. Desta forma, se houverem variações no consumo de uma determinada peça, existem outras que garantem a não parada da linha de montagem.

Existem duas formas de se definir um estoque de segurança. A primeira é em número de peças. A segunda é em número de peças correspondentes a um determinado tempo, e é medido em unidades de tempo. Para exemplificar, será considerado o exemplo do airbag, que atualmente é utilizado em 200 veículos por dia (mix de 40%). Serão considerados dois casos: A e B. No caso A, define-se um estoque de 200 peças e no caso B define-se o estoque de um dia de produção, o que equivale a 200 peças. Inicialmente as duas definições são idênticas, no entanto, com o passar do tempo, o consumo e mix variam. Se depois de algum tempo o mix mudar e o consumo dobrar para 400 airbags por dia (80% do mix), no caso A ainda teremos o estoque de 200 peças, que corresponde a meio dia de proteção, enquanto que no caso B o estoque foi atualizado automaticamente para 400 peças, garantindo um dia de proteção contra imprevistos.

Diversos são os problemas causados por estoques excessivos. Entre eles estão: envelhecimento e degradação das peças no local de armazenamento, custos de imobilização financeira e estocagem, impacto das modificações de peças e risco de perda do estoque no fim da vida de um componente (situação em que um componente pára de ser utilizado, quando todas as peças que estavam em estoque até então são descartadas).

Para diminuir o impacto do envelhecimento e degradação de peças, deve-se utilizar o sistema **FIFO (First In First Out)**, em que se utilizam as peças na ordem em que chegaram, garantindo a rotatividade do estoque.

As **modificações de peças** realizadas pelo departamento de engenharia visam ao aumento no desempenho das peças, redução de seus custos ou aumento de segurança. Em geral, a Engenharia deve projetar peças compatíveis com peças anteriores, mas isto nem sempre é possível. Nos casos em que se produzem peças

incompatíveis, outras peças e sistemas produtivos devem ser adotados quando a nova peça chegar. Isto incorre em custos elevados de troca da peça antiga pela nova. Se a fábrica estiver preparada cedo ou tarde demais ocorrerá uma ruptura de abastecimento. Desta forma, peças susceptíveis a modificações freqüentes, como é o caso de cabos elétricos, devem ser produzidos próximo à fábrica para diminuir ao máximo o estoque e o risco de perda deste em fim de vida.

2.1.3 Sistemas de Informação

A gestão da quantidade assombrosa de informações relativas aos diferentes departamentos de uma empresa é uma tarefa difícil. Antigamente esta gestão era realizada individualmente com softwares específicos a cada setor. No entanto, diversos problemas surgem da pluralidade de programas, e em especial, problemas de comunicação entre os diversos softwares.

Uma solução a estes problemas é a criação de um sistema único e integrado para gerenciar todas as informações. O programa resultante foi denominado **ERP (Enterprise Resources Planning)** e é um programa abrangente, constituído de módulos funcionais que ligam todas as funções de gestão de uma empresa (vendas, compras, produção, gestão de estoques, contabilidade, tesouraria etc.)

Todas as funções de gestão da empresa em geral são geridas por programas diferentes que têm freqüências distintas de atualização, protocolos de comunicação distintos e outras heterogeneidades. A vantagem do ERP é, portanto, a homogeneização das informações, tempos de cálculo, tratamentos automáticos, trocas de informações, evitando-se assim, rupturas nestes processos. O objetivo do ERP é constituir um sistema único, coerente e homogêneo de estruturação e tratamento de todas as informações a serem trocadas.

Do ponto de vista da informática, o ERP é estruturado em torno de um sistema de bases de dados relacionais que asseguram uma gestão única, coerente e segura dos dados transacionais da empresa.

Levando-se em conta a sua importância estratégica e as modificações importantes que serão introduzidas na empresa, a aplicação do projeto se estende

normalmente por vários anos e requer o seguimento de uma metodologia de implantação.

O **MRP II (Manufacturing Resources Planning)** é um sistema que planeja e controla as atividades de produção e está geralmente integrado ao ERP, para que este programa possa ser integrado a outros módulos, como o financeiro, compras, logística etc. Este sistema é em geral responsável por executar as comandas de peças aos fornecedores e enviá-las através de um protocolo chamado EDI (Electronic Data Interchange).

Assim, disfunções na produção e abastecimento impactam diretamente o sistema MRP II que, por sua vez, está diretamente conectado ao ERP. Desta forma, uma pequena disfunção pode ser propagada por todo o Sistema e atingir toda a empresa, desde a ferramentaria até a manutenção, passando pelo departamento de finanças.

2.1.4 Dificuldades de projetos de cadeias de suprimentos

Recentemente a logística tem ganhado mais espaço na estratégia das grandes corporações e a crescente preocupação com a área traz à luz dificuldades anteriormente ignoradas. Em primeiro lugar um breve histórico da logística será apresentado e em seguida, serão expostas as principais dificuldades de projetos de cadeias de suprimentos hoje em dia.

Segundo (BALLOU, 2007, p. 28) a história da logística pode ser dividida em três eras: antes de 1950, entre 1950 e 1970 e após 1970.

Até a década de 1950 não existiam departamentos de logística, e essa atividade era dividida entre os departamentos de marketing, finanças e produção. Isso gerava conflitos, pois as responsabilidades e objetivos eram contraditórios (em muitas empresas ainda o são). Por exemplo, enquanto a produção deseja trabalhar com grandes lotes para diminuir os custos de produção, o marketing prefere pequenos lotes para atender a uma maior diversificação de produtos. Destes conflitos de interesse não surgia uma otimização dos processos logísticos, mas não havia a necessidade de tal na época. O foco estava lentamente passando da área

produtiva para as áreas administrativas e marketing, começando assim o foco no cliente.

Entre os anos 1950 e 1970 alguns fatores mudaram, levando a uma nova etapa do desenvolvimento da logística. O primeiro fator é a mudança demográfica, êxodo rural e crescimento das metrópoles, alterando a situação logística que prevalecia anteriormente. Os varejistas também iniciaram uma expansão em direção aos subúrbios e começaram a trabalhar com estoques menores, demandando entregas mais freqüentes. Assim, os custos de distribuição dentro das metrópoles aumentaram.

Outro fator importante é o aumento da diversificação dos produtos ofertados. Os consumidores desejam mais opções de compra e os departamentos de marketing multiplicam as versões de produtos oferecidas. Para o mundo automobilístico, surgem automóveis de várias cores e várias motorizações. Isto aumentou o custo de manutenção de estoques de forma significativa, tanto pela gestão de mais versões, quanto pelos níveis de estoque de segurança de cada uma delas.

Nesta época também houve períodos de recessão, em que se busca minimizar custos. O custo logístico foi pela primeira vez avaliado por várias empresas e não só ele foi considerado alto, mas também com alto potencial de redução.

E muito do progresso da logística surgiu de duas fontes desta época: a experiência militar na área foi lentamente sendo transferida ao domínio privado e o surgimento dos computadores e modelos matemáticos para a logística, que revolucionariam o modo de pensar da época.

A terceira era logística começa na década de 1970, com o aumento expressivo do preço do petróleo em 1973 pelos países da OPEP e diminuição do crescimento do mercado. A redução de custos passou a ser mais importante do que o estímulo da demanda para manter os lucros.

Graças a estes eventos, a logística ganhou importância nas organizações e começou a ser um departamento separado que integra cada vez mais os atores internos e externos a uma companhia. Surge o conceito de cadeia de suprimentos como uma única cadeia de agregação de valor pelos diversos atores e o departamento logístico é incentivado gradualmente a realizar um trabalho de

integração das áreas de uma empresa. A tendência é a produção, os suprimentos e a distribuição serem regidas por políticas únicas e integradas.

Outros fatores decisivos para o crescimento da importância da logística nas empresas são o aumento da internacionalização, do custo de transportes e concorrência dos países emergentes. Assim, o diferencial de custos pode ser encontrado em uma logística eficiente e é neste caminho que as empresas têm andado.

A importância da logística só tende a crescer. A busca pela diminuição de custos, redução de risco de estocagem excessiva e crescente preço dos transportes dado o aumento das distâncias a serem percorridas fazem destacar esta área nas empresas.

E quais seriam as dificuldades recentes para a logística? Abastecimento de países distantes, tentativas de entrada em mercados emergentes e aumento da competitividade das empresas automotivas estrangeiras são os principais pontos. As soluções são trabalhadas de diversas formas, que serão expostas a seguir.

A inserção no mercado mundial de fornecedores – especialmente localizados na Ásia – de peças a baixo custo tem crescido. Mesmo que os níveis de qualidade e a capacidade destes fornecedores sejam altos, o tempo de transporte até uma montadora européia ou americana é elevado. Mas em geral, além do tempo elevado, têm-se problemas de qualidade e confiabilidade dos tempos de transporte. Quando se tratam de peças versáteis, aplicáveis a todas as versões de veículos fabricados, o consumo da peça em questão só é sensível a mudanças de volume. No entanto, se este for também sensível a mudanças de mix, a dificuldade é decidir até quando a economia no preço das peças compensa a perda de reatividade e custos de disfunções logísticas.

O impacto de tais modificações – particularmente a queda da confiabilidade dos tempos logísticos – causa impactos nos sistemas de informação, preparados para situações de menor variabilidade, e no aumento do risco de falhas no abastecimento.

Uma segunda dificuldade é a tentativa de entrada de uma montadora em mercados emergentes. Para reduzir custos alfandegários e se situar mais perto dos clientes, as empresas freqüentemente se instalaram nos países onde se quer estar presente. Para minimizar investimentos, reduzir riscos políticos ou seguir normas locais, normalmente esta instalação é feita através de relações de parcerias, Joint

Ventures ou filiais, e com acordos governamentais de incentivos em geral. O fator preponderante do sucesso ou falha de tais empreendimentos é a implantação logística. Deve ser considerada no projeto de forma cuidadosa a divisão de responsabilidades, com fronteiras claras, de forma a evitar interrupções em fluxos logísticos. Também deve ser prevista a rede de suprimentos de peças. Se as peças forem compradas localmente, deve-se assegurar que os fornecedores tenham capacidade produtiva e forneçam a qualidade desejada. Sempre vale prever, ao menos durante o início do funcionamento da nova fábrica, fornecedores de confiança – estrangeiros – como garantia.

Uma grande questão é decidir se serão utilizados fornecedores locais ou estrangeiros. A equipe de compras, responsável pela determinação dos fornecedores, tradicionalmente aceita fornecedores locais caso o consumo de determinada peça seja grande, pois é gerada uma economia aplicável a várias peças, o que impacta de forma positiva no bônus dos funcionários desta equipe. No entanto, peças de consumo esporádico – portanto mais sensíveis a mudanças no mix – não são compradas localmente, o que diminui a reatividade da fábrica montadora. Então a dúvida que surge é: até quando se deve investir em fornecedores locais para assegurar a reatividade da fábrica?

Um último desafio é a concorrência de novas montadoras originadas em mercados emergentes. Elas buscam atrair clientes através dos preços mais acessíveis e estão ganhando cada vez mais mercado e confiança entre os consumidores. Cabe às montadoras tradicionais dos países desenvolvidos criarem novas soluções para garantir a posição de mercado. Também deve haver uma busca pela redução de custos de forma a não perder mercado. Muitas montadoras européias já se estabeleceram no leste asiático e têm intenção de criar veículos mais acessíveis para ganhar o mercado em expansão.

2.2 Análise de risco

Nesta seção inicialmente será definido o que é risco, em seguida serão dados os fundamentos da análise de risco e por fim será exposto o procedimento para realizá-la.

2.2.1 Risco

Risco é uma palavra muito utilizada no dia-a-dia e pode ser definida de diversas maneiras. Por exemplo, no dicionário Michaelis (MICHAELIS, 1998), risco é definido como sendo a “possibilidade de perigo, incerto mas previsível, que ameaça de dano a pessoa ou a coisa”. A etimologia da palavra é italiana e vem de *riscio*, perigo. Assim, risco está essencialmente relacionado a perigo e a probabilidade de algo indesejável.

Para a realização do presente trabalho, é necessária uma definição mais precisa do termo, que pode ser encontrada em (KUMAMOTO; HENLEY, 1996), onde é definido o *Perfil de risco*, que engloba cinco elementos: resultado, probabilidade, significância da consequência, cenário causal e população afetada.

Resultado é concretização de um risco. Por exemplo, existe o risco de uma fechadura defeituosa ser montada em um veículo e isto não ser detectado na fábrica. Se isto ocorrer, o comprador deste automóvel perceberá a falha, ficará insatisfeito e pedirá a troca ou conserto do veículo.

Probabilidade de ocorrência de um evento indesejável é outro componente importante na definição do perfil de risco. No exemplo anterior, podem-se buscar dados históricos da ocorrência desta falha.

Significância da Consequência (doravante somente **consequência**) é uma medida numérica que permite avaliar o quanto ruim é um resultado. O seu oposto é a função utilidade, freqüentemente utilizada por economistas. Este é um elemento primordial do risco, e será estudado com muito cuidado posteriormente. Pode ser calculado de diversas formas e assumir diversos valores dependendo do contexto, mas sua relevância reside na possibilidade de comparar resultados de eventos distintos. No exemplo anterior, pode-se tomar o custo de reparação da fechadura como a consequência do evento. Pode-se incluir um acréscimo na consequência devido à perda de imagem da empresa vinda da insatisfação do cliente.

O **Cenário Causal** é a base do procedimento da análise de risco. Pode ser basicamente definido como a seqüência de acidentes, eventos e ações mitigadoras

que levam a um resultado específico, caracterizando as causas de um evento e as propagações do resultado obtido.

Para descrever o cenário causal, podem-se usar árvores de eventos e árvores funcionais. Exemplos explicativos seguem e mais adiante serão mais bem explicadas estas técnicas.

Ainda no exemplo acima, começemos pelas consequências possíveis da chegada de uma fechadura defeituosa na fábrica. O defeito pode ser percebido na recepção ou não. Caso este não seja percebido, há uma segunda chance de detecção quando o veículo é ligado e conduzido por um operador ao parque de estocagem. Se o erro for identificado nesta fase, é necessário trocar a fechadura com o carro já montado, o que incorre em custos adicionais. Se a falha não for detectada, no entanto, as consequências serão muito maiores quando o consumidor percebe-la, como descrito anteriormente. Podemos esquematizar esta seqüência de eventos com o auxílio de uma árvore de eventos, como mostra a Figura 4.

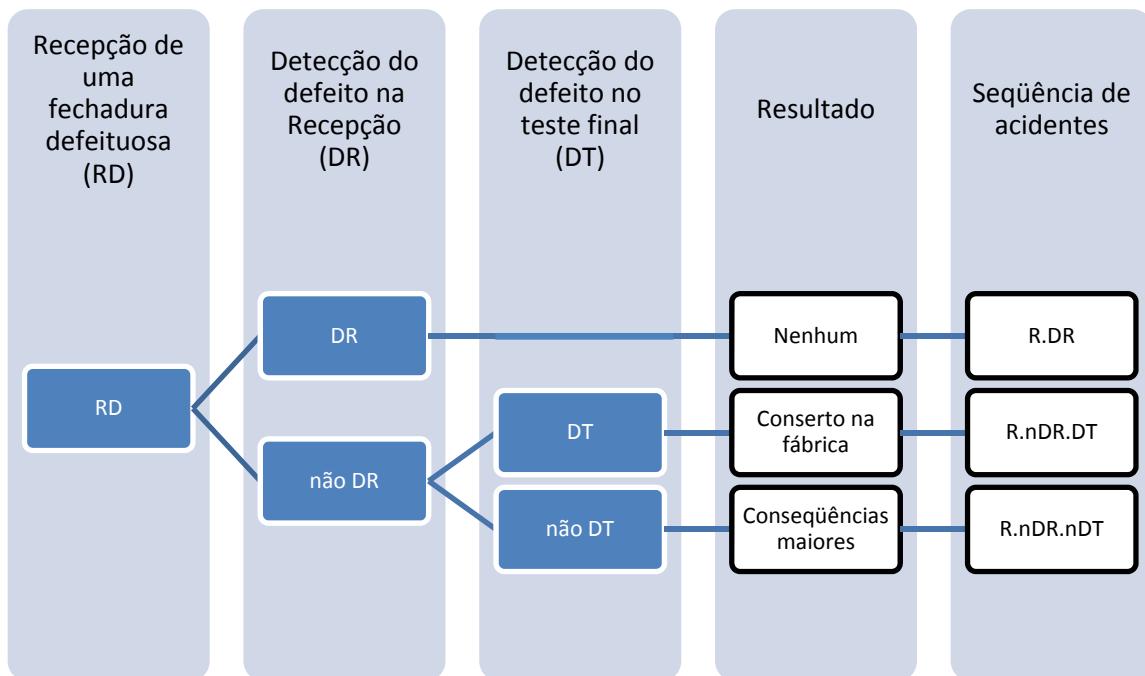


Figura 4: Árvore de Eventos recepção de fechadura defeituosa

Se analisarmos a recepção de uma fechadura não defeituosa, podemos realizar uma árvore funcional do sistema, como mostra a Figura 5. Em cada ramo e folha da árvore são descritos requisitos para o bom funcionamento do sistema de forma a culminar no recebimento de uma peça dentro das especificações.

Assim, com estas duas ferramentas podem-se identificar as principais ameaças e definir os cenários a partir da concretização de uma ameaça (evento indesejável). Estas duas técnicas serão mais bem explicadas mais adiante.

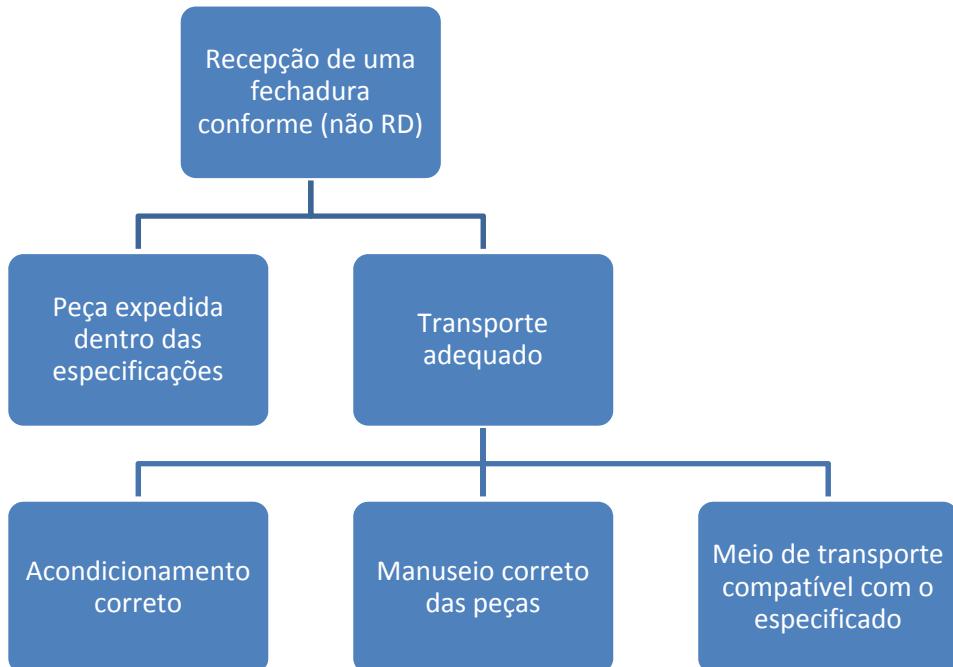


Figura 5: Árvore funcional para a recepção de fechaduras conformes

A **População afetada** representa a quantidade de elementos e o tipo deles. Enquanto que para um indivíduo calcularemos a probabilidade de falha, para uma população pode-se calcular o número esperado de fatalidades (por exemplo, o número de fechaduras defeituosas recebidas por ano em determinada fábrica).

Deve-se notar ainda que três aspectos são fundamentais para a existência de incertezas (e portanto de risco) em uma situação: resultados múltiplos, anonimato das vítimas e previsão antes da concretização.

Quanto a **resultados múltiplos**, um evento com 100% de chance de ocorrer não incorre em riscos, mesmo que suas consequências sejam nefastas, já que o resultado já é conhecido de antemão. Assim, para que a referência a risco seja válida são necessários múltiplos resultados possíveis ($n \geq 2$) e cada um com probabilidade positiva.

Quanto ao **anonimato das vítimas**, consideremos o exemplo de peças que são transportadas em uma embalagem (rack). Se soubermos a priori quais peças chegarão danificadas (segundo a posição das mesmas), o evento indesejável

(danificação das peças) seria na verdade um “crime”, e não seria necessário avaliar o risco, e sim, prevenir o dano, não colocando peças nas posições em que estas são sempre danificadas. Desta forma, ainda que se possam prever os números de vítimas, para a existência de risco, estas não podem ser identificáveis a priori.

Previsão antes da concretização é a última premissa para garantir a incerteza inerente ao risco, já que não existe incerteza de um evento passado. Se considerarmos o exemplo da fechadura defeituosa uma vez que ela tenha sido identificada pelo cliente, este evento não representa um risco, e sim um prejuízo certo.

Finalmente, uma vez que já definimos o perfil de risco e verificamos que as situações analisadas estão sujeitas a incertezas, é necessária uma definição simplificada que norteie o presente trabalho.

A cadeia de suprimentos sofre disfunções freqüentemente por trabalhar com muitos processos relativamente pouco confiáveis e sujeitos a variações a uma taxa elevada. Desta forma, o risco neste sistema não deve ser considerado como a ocorrência rara de eventos e por isso, de uma forma muito simples, o risco será definido como o produto entre a probabilidade de ocorrência de determinado evento e sua conseqüência, o que é equivalente a dizer que o risco será considerado como equivalente ao valor esperado das conseqüências em um determinado período.

Desta forma, serão realizados três passos:

1. Seleção de alguns **Eventos de Referência** ou de **Cenários de Referência** (seqüências ou cadeia de eventos) relativos a uma ou mais ameaças (resultados negativos do evento) E_i
2. Estimação da **Probabilidade** ou **Freqüência** de tais eventos, P_i
3. Estimação das **Conseqüências** dos eventos, C_i

O cálculo das conseqüências será mais bem descrito na seção 2.2.2, mas por enquanto sabemos que as conseqüências são medidas numéricas (e normalmente financeiras) do dano causado pelo resultado de um evento.

Tomando a definição de risco (R) como o valor esperado das conseqüências, tem-se:

$$R = \sum P_i * C_i \quad \text{Equação 1: Definição de risco}$$

Onde:

R = risco;

P_i = probabilidade do evento i ;

C_i = consequência do evento i.

Outra forma de definir risco é através de uma matriz de risco que indica a relação Probabilidade X Conseqüência, mesmo sem a avaliação numérica formal da probabilidade de falha. Um exemplo deste método é apresentado na Figura 6, onde são utilizados quatro níveis de valores para as consequências e cinco níveis para a freqüência dos eventos.

Este método é útil, pois simplifica os cálculos e não exige uma capacitação ao uso da ferramenta tão elevado quanto o método que será utilizado neste trabalho. No entanto, perde-se precisão com este método e a informação obtida será do nível de risco, e não do custo esperado devido às disfunções em determinado período de tempo.

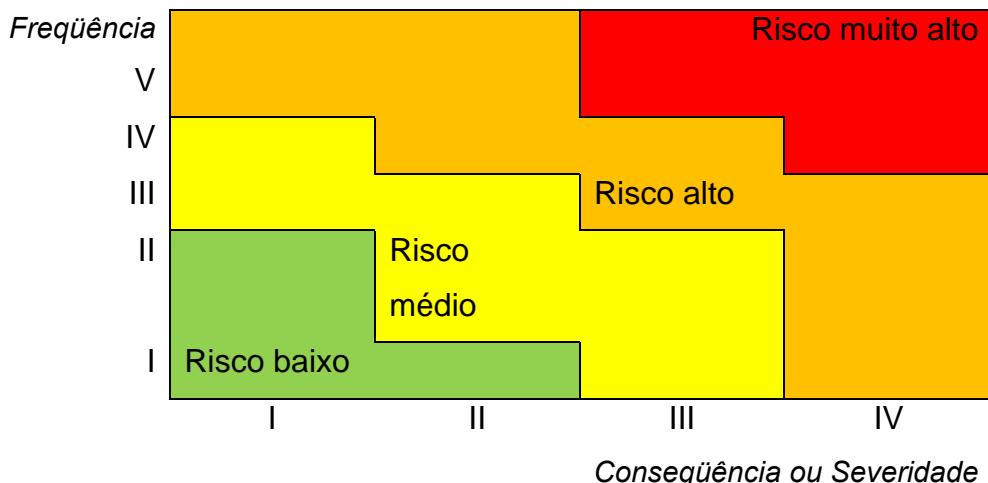


Figura 6: Matriz Freqüência X Conseqüência e perfis de risco

2.2.2 Análise de risco

A análise de risco será a ferramenta principal deste trabalho e seus objetivos principais são descritos por (MODARRES, 1993, p. 297):

A análise de risco é uma técnica utilizada para identificar, caracterizar, quantificar e avaliar ameaças e disfunções. (...) Esta técnica consiste de duas fases: uma qualitativa de identificação, caracterização e classificação de ameaças; e uma quantitativa de avaliação de risco, que inclui a estimativa da probabilidade (ou freqüência) de ocorrência de ameaças e das consequências das mesmas.

Depois de realizada a análise de risco (...) é possível gerenciá-lo baseando-se em análises de risco-benefício ou custo-benefício. Pode-se ainda gerenciá-lo tentando diminuir a probabilidade de ocorrência do risco, reduzir impactos de acidentes incontroláveis (preparando e adotando respostas a emergências) ou transferindo-se o risco (através de companhias de seguro).

O primeiro passo para a execução da análise de risco é a **Identificação de Ameaças**. Devem-se listar todas as ameaças ao bom funcionamento dos processos estudados, o que pode ser feito segundo as técnicas indicadas no capítulo 2.2.3. Normalmente estas ameaças são parte do processo e utilizam os limites do próprio processo como contenção de risco. Dito de outra forma, na ausência de distúrbios, as barreiras de contenção destas ameaças não serão desafiadas. No entanto, em um cenário de risco, se propõem desafios a estas barreiras e tenta-se estimar a probabilidade de ruptura das barreiras e concretização das ameaças.

O segundo passo é a **Identificação de Barreiras de Contenção**, ou simplesmente **Barreiras**, que são todos os mecanismos de proteção do processo que intervêm para prevenir ou minimizar a exposição às ameaças anteriormente identificadas. No caso da cadeia de suprimentos, uma das Barreiras de Contenção mais importantes é o estoque de segurança. Outra barreira importante é a detecção de peças defeituosas (a detecção impede a montagem de tais peças no automóvel)

Em terceiro lugar, devem-se encontrar todas as **Ameaças às Barreiras**. Após a identificação de cada barreira, devem-se definir os pré-requisitos de manutenção de cada uma delas. As barreiras sofrem ameaças de duas formas: por degradação de sua força ou pelo aumento de tensão aplicada nas mesmas. Um exemplo de enfraquecimento da barreira “estoque de segurança” na cadeia de suprimentos é a presença excessiva de modificações propostas pela Engenharia. Nesta situação o estoque de segurança deve ser menor para ser mais reativo às modificações e, como consequência, ele tem menos força para resistir aos impactos de variações na entrada.

Em seguida, deve-se **Estimar a Probabilidade de Concretização de uma Ameaça**. Devem-se identificar os cenários em que possam ocorrer rupturas das barreiras, e em seguida, estimar da melhor forma possível as probabilidades ou freqüências de ocorrência de cada cenário. No caso da cadeia de suprimentos, uma fonte em geral disponível e confiável são os dados históricos de eventos semelhantes aos eventos estudados.

Por fim, **Calculam-se os valores das Conseqüências** da concretização de cada uma das ameaças identificadas. Estes valores são a medida do dano causado pelo resultado de um evento. Preferencialmente opta-se por valores quantitativos (perdas em unidades monetárias, horas de parada de linha de montagem, atraso na produção de um veículo etc.) Se isto não for possível, pode-se também optar por valores qualitativos, mas que dificultam o cálculo do risco segundo a Equação 1.

Resumindo, o procedimento é como descrito na Figura 7.

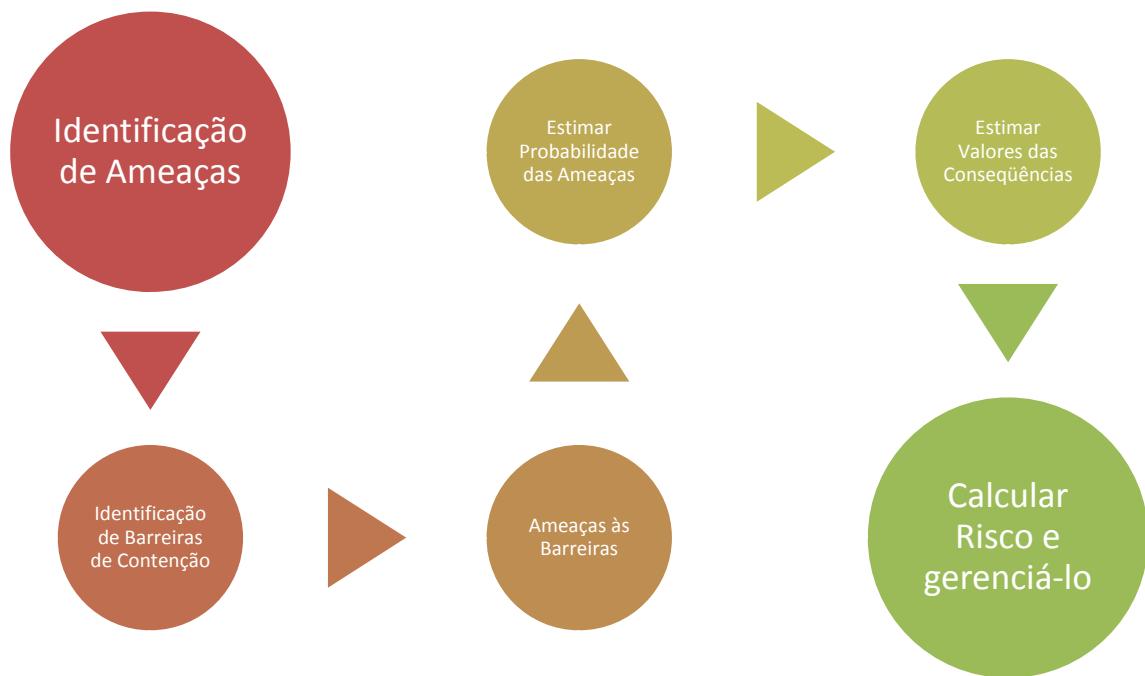


Figura 7: Procedimento para análise de risco

2.2.3 Técnicas de Identificação de Ameaças

Em uma análise de risco o primeiro ponto, como apontado anteriormente, é a identificação de ameaças. Este item é essencial para o sucesso da análise de risco, pois somente as ameaças identificadas serão analisadas e desta forma, os efeitos destas ameaças podem ser trabalhados.

Existem diversos procedimentos, sem que um prevaleça sobre os outros em todos os casos, sendo alguns mais apropriados a certas fases de projetos que outros.

Duas ferramentas que sempre ajudam, e em especial nesta etapa, são a experiência anterior e a obediência às normas e procedimentos existentes. No entanto, basear-se somente nestas fontes é um erro e deve-se buscar uma técnica metódica para a descrição completa das ameaças.

Esta etapa não é trivial e, por isso, a presente seção deste trabalho é dedicada à apresentação das principais técnicas de identificação de ameaças.

2.2.3.1 CHECKLIST

O mais antigo, e talvez um dos mais úteis, a checklist é a garantia do não esquecimento de nenhuma fonte de perigo ao sistema. A checklist consiste de uma lista de ameaças que sujeitam o sistema em análise. Este método tem o mérito de garantir que nenhuma ação ou tarefa foi esquecida ou negligenciada.

Para a realização desta checklist pode-se procurar outras checklists semelhantes na literatura e complementá-las utilizando-se as experiências adquiridas anteriormente. Seguindo uma linha de todas as classes de ameaças (por exemplo, transporte, produção, logística interna, etc.) e em seguida listar todas as ameaças contidas nestes itens.

2.2.3.2 “HAZOP”

O método “HAZOP” (Hazard and Operability Study – Estudo de operabilidade de perigos) é realizado na etapa da criação do fluxograma de processo.

Este método usa algumas palavras-guia, como *mais de, menos de, nenhum, parte de, depois de, antes de, revertido, endereço errado, além de, assim como,* aplicadas aos parâmetros de processo definidos no projeto.

Desta forma, são questionados todos os parâmetros e os efeitos de suas variações de forma sistemática.

2.2.3.3 FMEA

FMEA (Failure Modes and Effects Analysis – análise de modos e efeitos de falha) é uma técnica de identificação de ameaças que é orientada para requisitos funcionais ou componentes de um sistema.

Inicialmente uma árvore funcional é realizada, como aquela indicada na Figura 5, indicando no nó superior a função do sistema analisado. Em seguida, detalham-se os macro-requisitos para a concretização da função indicada acima. Depois cada macro-requisito é declinado em outros requisitos menores até se atingir o nível de detalhe almejado.

Para cada um destes requisitos, ou funções, definem-se os modos de falha e seus efeitos associados. No exemplo da Figura 5, para o nó transporte adequado → acondicionamento correto, é obtida a Tabela 1, que explicita os modos e efeitos de falha. Esta análise deve ser feita para todas as funções (nós da árvore), e não só para um nó específico como indicado.

A análise completa inclui, para cada modo de falha, o nome, função, causas da falha, efeitos da falha no sistema, métodos de detecção da falha, provisões para compensação, severidade dos efeitos e comentários.

Tabela 1: Análise de Modos e Efeitos de Falha para o exemplo da fechadura

Função	Modo de Falha	Efeito
Transporte adequado → acondicionamento correto	Embalagem não impede transmissão de solicitações às peças transportadas	Vibrações, corrosão etc.
Transporte adequado → acondicionamento correto	Ruptura da Embalagem	Perda da proteção e agrupamento ordenado das peças

Assim o procedimento da realização do FMEA pode ser descrito como mostra o esquema da Figura 8.

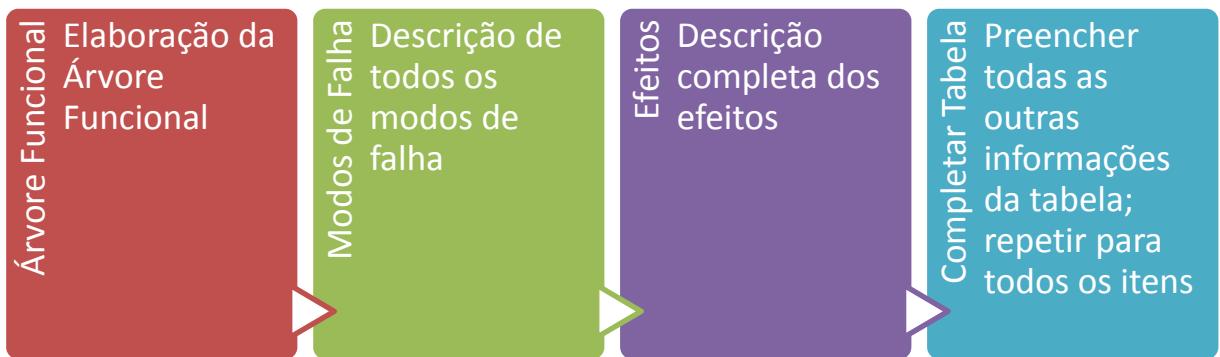


Figura 8: Procedimento para realização do FMEA

2.2.3.4 ÁRVORE DE EVENTOS

Esta técnica segue uma lógica indutiva, contrária à lógica dedutiva do FMEA. A partir de um evento inicial desenvolvem-se cenários baseados em eventos, ações e reações que seguem em ordem cronológica o evento inicial, levando o sistema a diversos estados finais. Cada estado é analisado em termos de resultados ou consequências e as probabilidades em cada passo são avaliadas de forma a ser sabida a probabilidade de cada estado na árvore. Por construção, a soma das probabilidades dos estados é 100% e a soma das freqüências é a freqüência de ocorrência do evento inicial.

A árvore de eventos permite o desenvolvimento de cenários e a avaliação da freqüência de ocorrência de um estado e de suas consequências. Assim, através da Equação 1 e da árvore de eventos, pode-se calcular o risco.

Desta forma, é interessante associar a cada evento inicial encontrado na análise da árvore funcional do FMEA uma árvore de eventos, podendo-se assim, chegar ao valor final do risco declinado em cada folha da árvore funcional.

2.2.3.5 ÁRVORE DE FALHAS

É um diagrama lógico destinado a apresentar as causas de um dado evento indesejável, denominado Evento Topo, que deve ser conhecido anteriormente,

através de uma das outras técnicas de identificação de ameaças anteriormente citadas.

Trata-se de uma técnica dedutiva onde após a definição do Evento Topo identificam-se através de portas lógicas os eventos iniciadores. Graças à presença de portas lógicas, é possível posteriormente simplificar o modelo tomando-se somente os caminhos críticos e seus eventos iniciadores.

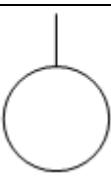
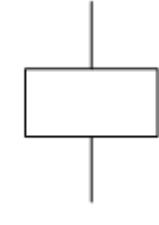
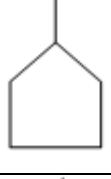
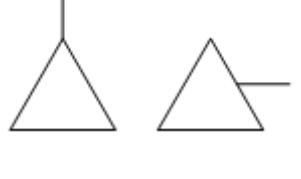
Esta técnica é utilizada em grandes e complexos sistemas, pois é um dos métodos mais completos e que permite a busca de alta confiabilidade, ilustrando a presença de barreiras de contenção.

Por seu detalhe e capacidade de gerenciar grandes sistemas com altos requisitos de confiabilidade, este método é muito utilizado em plantas nucleares.

A construção de uma árvore de falhas exige o conhecimento da simbologia típica dos blocos formadores da árvore. Essa simbologia foi desenvolvida de forma que se possa visualizar e classificar facilmente um grande número de eventos (KUMAMOTO; HENLEY, 1996). Os principais símbolos e suas descrições se encontram na Tabela 2.

No caso da cadeia de suprimentos, as falhas ocorrem por uma infinidade de eventos básicos não enumeráveis na maioria das vezes. Estas falhas em geral geram consequências ao mesmo tempo em que ações mitigadoras são iniciadas. Como este sistema de falhas é mutável no tempo, torna-se difícil a aplicação desta técnica na cadeia de suprimentos.

Tabela 2: Símbolos utilizados na árvore de falhas

Símbolo	Significado
	Evento básico – falha do componente de nível mais baixo da árvore.
	Evento não desenvolvido – eventos que não se pode detalhar por falta de informações ou recursos. Em geral são eventos de importância secundária.
	Estado do sistema: é um evento (indesejável) resultante da falha de um ou mais componentes básicos através de portas lógicas.
	Evento lógico utilizado para incluir ou excluir eventos de uma árvore. Presume-se que esse evento ocorre ou não.
	Os triângulos servem para a transferência de eventos para simplificação da árvore. O triângulo à esquerda representa uma transferência para dentro da árvore e o da direita, para fora.
	Porta E . Evento de saída ocorre se todas as entradas ocorrerem simultaneamente.
	Porta OU . Evento de saída ocorre se pelo menos uma das entradas ocorrer.
	Porta OU Exclusivo . Evento ocorre se uma e apenas uma das entradas ocorrer.

3 Modelo de análise

Neste trabalho será analisada somente a parte de abastecimento de uma Montadora. Uma análise similar poderia ser realizada também para a parte de distribuição, mas isto foge ao escopo da presente publicação.

Para um funcionamento logístico correto na parte de suprimentos, é necessário que as peças corretas e de boa qualidade cheguem ao lugar correto e em boa quantidade no tempo certo. Uma Árvore Funcional (Figura 9) foi realizada com os pré-requisitos necessários a cada uma das macro-condições inerentes ao bom funcionamento logístico. Esta árvore será a base do estudo realizado.

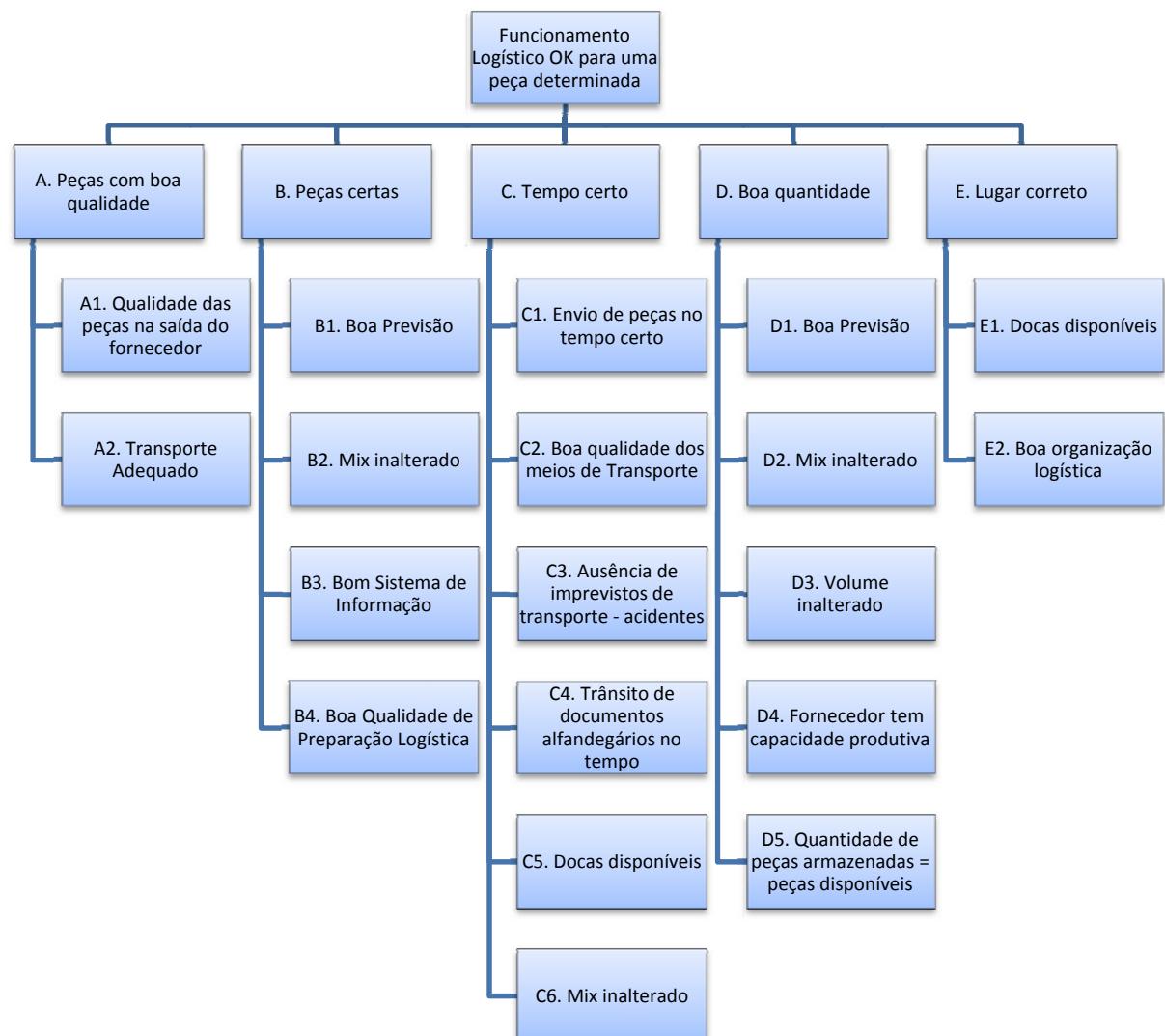


Figura 9: Árvore Funcional para a cadeia de suprimentos de uma Montadora

A análise proposta está fortemente atrelada a esta árvore, e será importante retornar a ela sempre que necessário para compreender cada um dos requisitos estudados. As macro-condições foram denominadas ramos da árvore (A, B, C, D e E) e os pré-requisitos, folhas da árvore (A1,..., E2).

Para estimarmos o risco do Funcionamento Logístico de forma incorreta, analisam-se cada uma das folhas da árvore da Figura 9. Inicialmente avaliam-se as probabilidades de ocorrência de falhas em cada folha da árvore em seus respectivos ramos e, em seguida, as consequências correspondentes. Lembrando que um requisito (folha) pode figurar em dois ramos distintos, deve-se tomar o cuidado de não se contabilizar duas vezes um mesmo cálculo.

Essa árvore é válida para cada peça, e o risco de falhas no abastecimento será a soma dos riscos de cada peça. Com este cálculo pode-se saber em quais peças e quais processos convém investir mais para a diminuição do risco global.

3.1 Cálculo das Probabilidades

Para o cálculo das probabilidades de ocorrência de falhas nos requisitos representados nas folhas da árvore da Figura 9, poderão ser utilizadas as freqüências históricas de ocorrência de tais eventos, desde que os dados históricos sejam relacionados à realidade atual. Não é aconselhável realizar estimativas para as probabilidades de falha dos requisitos citados, já que isso seria muito mais difícil que utilizar os dados históricos disponíveis.

A análise de risco sugere o desenvolvimento de cenários, que evoluem com a ocorrência de eventos distintos. Enquanto isto pode ser feito quando se olha uma das folhas da árvore da Figura 9, é mais difícil prever efeitos da combinação de eventos perturbadores. Como a probabilidade de ocorrência de dois destes eventos é baixa, disfunções indicadas nas folhas serão consideradas como se fossem eventos mutuamente exclusivos, e o valor final obtido para o risco será ligeiramente superestimado. No entanto, isto não invalida a análise já que o efeito desta aproximação é ínfimo no resultado final.

3.1.1 Peças com boa qualidade (ramo A)

Normalmente as Montadoras monitoram a qualidade de recepção das peças recebidas dos fornecedores, sendo facilitada a tarefa de determinação da freqüência de recebimento de peças defeituosas ou danificadas. É igualmente fácil separar as peças com má qualidade devido a falhas de transporte e devido à má qualidade das peças na saída do fornecedor. No entanto, para realizar esta distinção, é necessário que a Montadora realize um registro das origens dos defeitos das peças recebidas, permitindo uma ação corretiva focada nos problemas raiz. O fornecedor deve também monitorar a qualidade, mas nem sempre a Montadora terá acesso aos dados do mesmo.

Os defeitos de responsabilidade do fornecedor são, em geral, erros de tolerância, má qualidade de fabricação (rugas em peças prensadas, soldas com defeito etc.) e problemas causados no tratamento térmico. Já para os danos causados a peças por causa de transporte inadequado, podem-se citar a corrosão de peças transportadas em navios em função de falha no acondicionamento, que propicia o contato com a atmosfera salina (principalmente em peças de carroceria) e o manuseio incorreto de peças (com efeito de possíveis deformações plásticas, criação de trincas etc.).

Portanto, para o cálculo da probabilidade de uma Montadora receber uma peça de má qualidade, basta tomar a freqüência de recebimento de peças impróprias. No caso da avaliação desta probabilidade para uma peça nova, podem-se fazer analogias com outras peças similares, histórico do fornecedor, ou fornecedores semelhantes.

3.1.2 Peças certas (ramo B)

Este ramo da árvore avalia o risco de receber uma peça incorreta tanto na linha de montagem quanto na recepção da fábrica.

Como explicado no capítulo 2.1, as Montadoras têm uma central de gerenciamento de pedidos e ordens de fabricação. Essas centrais são responsáveis pela previsão de produção e modificação da mesma, caso necessário. Desta forma, as probabilidades das folhas B1 e B2 (Boa Previsão e Mix inalterado) podem ser calculadas pela central da Montadora, com base em dados históricos. Para serem diminuídas as probabilidades destes itens, deve-se investir em políticas logísticas de forma a aumentar a visibilidade do filme de veículos, diminuir o tempo de processamento de comandas e garantir maior precisão da previsão a médio prazo.

A folha B3 (Bom Sistema de Informação) se refere não só aos Sistemas de Informação utilizados (MRP, ERP etc.), mas também aos usuários dos mesmos e às redes de transmissão de dados.

As probabilidades dos erros causados pelos sistemas e seus usuários são difíceis de serem estimadas dada a infinidade de erros possíveis, e a estimação das consequências associadas também não é simples. Esta folha corresponde ao fator de risco mais difícil de ser estimado, e é a única folha em que o risco não será calculado como o produto de probabilidades por consequências, dada a impossibilidade de descrever todas as possibilidades.

Outra dificuldade está no cálculo das consequências. Para esclarecer, serão considerados dois exemplos. No primeiro, um utilizador do sistema insere um zero a mais na programação da fabricação. Este erro é propagado nos sistemas e é percebido por outro funcionário, que entra em contato com diversas pessoas para corrigir o erro. Neste caso, não houve consequências maiores, já que o erro foi identificado e corrigido. No entanto, deve-se contabilizar o tempo (em horas de salário) que foi perdido na solução deste problema, o que é quase impossível de fazer.

No segundo exemplo, o sistema ou o usuário fazem uma comanda superior ou inferior ao que deveria ser pedido de uma determinada peça. Como consequência surgirá um estoque excedente ou uma penúria. A questão nesse caso é como saber a quem atribuir o erro? Todos os atores envolvidos culparão outros atores e será difícil saber se o chefe de produção alterou a ordem de produção, se foi um erro do sistema, erro do funcionário que utilizou o sistema, erro de comunicação entre os atores etc.

Desta forma, esta folha pode ser estimada se houverem dados suficientes ou se quiser adotar um valor para base de comparação. Este item em geral impacta

todas as peças e deve ser contabilizado globalmente, e não por peça. Com o intuito de melhorar a confiabilidade dos Sistemas de Informação, deve-se investir em treinamento e na atualização e melhorias dos softwares.

Já a folha B4 (Boa Qualidade de Preparação Logística) se refere ao gerenciamento interno da fábrica e à probabilidade da peça certa chegar ao lugar designado. Podem-se buscar dados históricos para este item, mas nem sempre estes estarão disponíveis. Embora esta probabilidade seja baixa em geral, em épocas de mudanças de sistemas logísticos, de prestadoras de serviço, de Sistemas de Informação etc. este pode vir a ser o item mais importante na análise de risco.

3.1.3 *Tempo Certo (ramo C)*

Provavelmente o ramo mais importante da árvore em termos de risco, dada a maior probabilidade de ocorrência, é também o mais fácil de ser avaliado, já que a maioria das Montadoras guarda registros de expedições dos fornecedores e recepções nas fábricas. Este ramo também deve ser analisado com base em dados históricos, e tem a facilidade de que as avaliações das probabilidades relativas aos serviços de transportadores e prazos alfandegários são em geral válidas para outras peças em situação similar.

Desta forma, a avaliação das probabilidades das quatro primeiras folhas (Envio de peças no tempo certo, Boa qualidade dos meios de Transporte, Ausência de imprevistos de transporte – acidentes e Trânsito de documentos alfandegários no tempo) vem de dados históricos, que são em princípio facilmente encontrados.

A folha C5 (Docas disponíveis) pode ser regulada com boa organização logística das docas e boa qualidade logística dos fornecedores. O fato de não se ter docas disponíveis em determinado instante gera litígios e por isso devem-se conseguir dados históricos com facilidade também.

Já a folha C6 (Mix inalterado) é idêntica à folha B2, e não deve ser contabilizada duas vezes.

3.1.4 Boa Quantidade (ramo D)

Este ramo está relacionado à recepção da quantidade correta de peças necessárias à produção de veículos. Se chegarem mais peças à fábrica do que o necessário ter-se-á um estoque excessivo e no caso contrário, modificação do filme de veículos, parada da linha de montagem ou ainda envio de peças por taxi rápido.

As folhas D1 e D2 (Boa Previsão e Mix inalterado) são idênticas às folhas B1 e B2, e não devem ser contabilizadas duas vezes.

Já a folha D3 (Volume inalterado) tem sua probabilidade calculada diretamente através dos dados históricos da Central da Montadora. Como a Indústria Automobilística é muito dinâmica, é comum que ocorram falhas neste ponto, a menos que existam enormes estoques de segurança ou que a peça seja padronizada para todos ou vários veículos montados na fábrica.

A probabilidade de falha da folha D4 (Fornecedor tem capacidade produtiva) pode ser obtida diretamente do departamento de relacionamento com o fornecedor, que em geral mede taxa de serviço e estima a capacidade produtiva do fornecedor.

A folha D5 (Quantidade de peças armazenadas = peças disponíveis) trata o problema do desaparecimento de peças. Isto pode ocorrer por diversos motivos, mas o mais freqüente é o furto das chamadas peças “sensíveis”, como aparelhos GPS e rádios. Outras causas são a má gestão de estoques e má organização logística da fábrica. Normalmente este dado é monitorado pelas fábricas e para reduzir a incidência dele normalmente cria-se uma região de peças “sensíveis” no estoque com acesso somente a uma parte do quadro de funcionários. Neste item devem também ser consideradas as perdas de peças em deslocamentos internos e por outras causas.

3.1.5 Lugar correto (ramo E)

A cadeia de suprimentos é um sistema bastante complexo e sujeito a diversas influências e ruídos. Para montar o veículo com determinada peça, não

basta que ela tenha boa qualidade, seja a peça correta, tenha chegado no tempo correto e em boa quantidade se ela não estiver disponível no local correto para utilização. Assim, é fundamental que se armazenem as peças nos locais devidos e que estas sejam encontradas mais tarde.

A folha E1 (Docas disponíveis) é idêntica à folha C5 e não deve ser contabilizada novamente.

Já a folha E2 (Boa organização logística) está associada à folha B4, e é mais fácil realizar um agrupamento entre estas duas folhas quando se for calcular o risco.

3.2 Cálculo das consequências

As consequências são mais difíceis de estimar, já que estas são diferentes dependendo do contexto em que uma disfunção da cadeia de suprimentos ocorre. Ainda assim, as consequências são em sua grande maioria de três tipos: parada da linha de montagem por um tempo determinado, mudança do filme de veículos na produção ou produção de veículo incompleto.

Neste parágrafo as consequências foram analisadas prioritariamente do ponto de vista dos custos. Além disso, também poderiam ser analisados outros riscos, como os riscos de imagem. Disfunções logísticas que transpareçam para o cliente final ou para a sociedade denigrem a imagem da empresa, o que causa impactos negativos nas vendas de veículos e da rentabilidade em geral. Estes impactos são de difícil estimativa e não serão levados em conta.

Em geral se sugere que a análise de risco seja baseada no desenvolvimento de cenários. Considerando-se que a análise proposta é bastante complexa e que ela incide sobre milhares de peças e, com o intuito de simplificar a análise sem comprometer o resultado, os cenários devem ser desenvolvidos no cálculo das consequências utilizando-se as folhas da árvore funcional da Figura 9 como eventos iniciais para as árvores de evento e desconsiderando eventuais interações entre eventos iniciais. Desta forma será obtida uma função entre a severidade do problema e a consequência (como é o caso do custo de parada da linha de montagem). Esta função não é necessariamente linear.

A Barreira mais comum na cadeia de suprimentos é o estoque de segurança. Nos cálculos que serão realizados, será utilizada a hipótese de que o estoque da peça em estudo para o cálculo de consequências é idêntico ao estoque de segurança projetado e será admitido também que as peças do estoque tenham boa qualidade e estejam prontas para o uso. Para cálculos mais complexos podem-se desenvolver cenários que combinem o estado e quantidade do estoque com o evento indesejável para se poder calcular a consequência com maior precisão.

3.2.1 Parada da linha de montagem por um tempo determinado

Existem muitas formas de contabilizar a parada da linha de montagem. O ideal é escolher uma forma que seja medida em unidades monetárias e que seja comparável com os outros cálculos relativos a outros tipos de consequências.

Normalmente existe um valor calculado pelo controle de gestão, que é utilizado, entre outros, para verificar se enviar um taxi³ é rentável no caso de penúria de uma peça. A vantagem de se utilizar este valor é a sincronização com o controle de gestão.

Pode-se também estimar o custo de não produção através da contabilização de todos os custos que serão incorridos se a fábrica tiver que produzir a mesma quantidade de veículos em outra ocasião (equipes suplementares de final de semana, organização da fábrica, flexibilidade de produção, etc.) Esta versão do cálculo deve ser similar ao valor estimado pelo Controle de gestão.

Pode-se ainda estimar o faturamento “perdido” através dos valores de *Takt Time*⁴ e preço de venda do veículo. Este método não é indicado pois, embora avalie a consequência em termos financeiros, é difícil relacionar este valor com outros dados, já que este não representa custos reais ou perda real de faturamento.

³ Taxi: envio de determinadas peças por meio de um transporte mais rápido de forma a minimizar o tempo de parada da linha de montagem.

⁴ Takt Time: tempo que um operador tem para realizar um determinado número de operações por veículo. É o ritmo da fábrica.

A conseqüência da parada da linha de montagem pode ser calculada a partir dos dados acima gerando uma função não necessariamente linear. Nos primeiros minutos pode-se atribuir um custo ao minuto. Se a parada for mais longa, pode ser atribuído um custo fixo durante um intervalo de tempo referente ao custo do taxi, mas que fica estável já que o taxi antecipa a chegada das peças. Na Figura 10 pode-se ver um exemplo, em que é rentável pedir um taxi somente se a parada prevista da linha de montagem for superior a 24h, sendo o custo estável entre 24h e 48h devido ao ganho de um dia no transporte.

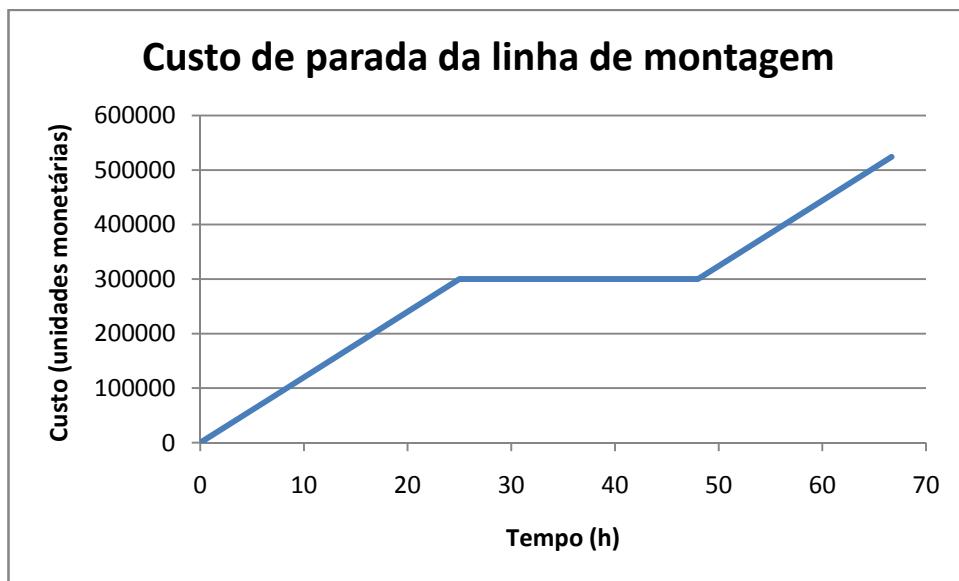


Figura 10: Custo de parada da linha de montagem em função do tempo

3.2.2 Mudança do filme de veículos na produção

É possível que falte uma peça específica a uma versão ou a uma parte dos veículos montados nas linhas de montagem e que impossibilite a montagem parcial do veículo, como por exemplo, a falta de um componente do freio ABS ou de um tipo de motor. Nestes casos, como não é possível montar parcialmente o veículo, as versões afetadas são deslocadas no filme de veículos.

Em curto prazo, sobem os estoques de outras peças associadas à versão impactada, surgem alguns custos de gestão de penúria, mas não existem muitos custos suplementares com relação ao atendimento aos clientes.

Em médio prazo, tem-se a insatisfação dos clientes, que devem ser incluídas no cálculo desta consequência e para impedir a propagação destes custos, tem-se o custo de taxi aéreo de peças.

No custo de estocagem de outras peças devem-se incluir os custos diretos de estocagem e o custo de capital relativo ao valor financeiro imobilizado destas peças.

3.2.3 Produção de veículo incompleto

Caso a peça faltante não impacte a montagem do veículo, como seria o caso da falta de calotas, palhetas de pára-brisa etc., o carro pode ser produzido e aguardar no estacionamento (estoque de saída) da fábrica ou ser enviado diretamente às concessionárias, que terminariam a montagem do veículo. Neste caso o impacto é menor do que a parada da linha de montagem ou mudança do filme de veículos.

Se o automóvel for enviado às concessionárias, o custo será o de envio das peças faltantes às mesmas, ou o custo de compra das peças faltantes pelas concessionárias. Se ele ficar esperando no pátio da fábrica, devem-se contabilizar os custos de estocagem (o espaço que o carro ocupa) e de imobilização financeira (através do custo de capital).

4 Caso exemplo

Para poder entender melhor o processo descrito no capítulo 3, vamos utilizar um exemplo fictício. Os valores utilizados também são fictícios por uma questão de sigilo com relação aos dados estudados. Estes valores não têm, portanto, realidade física e não representam os dados reais de nenhuma montadora. Por tratar de um exemplo internacional, os valores indicados para as consequências serão medidos em dólares americanos, mas não são representativos dos custos reais de nenhuma Montadora, embora o objetivo seja utilizar valores que respeitem a ordem de grandeza dos mesmos no ano de 2008.

O caso é baseado em um veículo de plataforma sub-compacta com duas opções de motorização (1.0 e 1.6), três versões e uma dezena de modelos possíveis fora a opção de cor. A peça em estudo será um volante, que é montado em todas as versões do veículo em estudo. O consumo anual é estimado em 100.000 volantes (consumo diário aproximado de no máximo 400 volantes). Esta peça é transportada por via terrestre a partir do fornecedor, passando por uma plataforma de agrupamento, e cruza a fronteira de um país com sistema alfandegário pouco eficiente – a autorização de passagem do volante pela fronteira demora mais tempo que o transporte em si mesmo – embora não haja dados históricos de algum carregamento que tenha sido recusado, e as peças chegam finalmente à fábrica montadora, estabelecida em um país emergente. O sistema logístico e a infra-estrutura deste país são bastante ineficientes. A fabricação dos carros neste país é realizada através de uma parceria com uma fábrica de automóveis com dedicação exclusiva (que será chamada de “parceiro” ou fábrica montadora). Os processos são uniformes e controlados pela matriz até a chegada da fábrica parceira, mas dentro desta, os processos são regidos por outras normas, pessoas e sistemas. Entre a saída do fornecedor e a entrada da fábrica todas as peças estão protegidas por seguro, isto é, se algo acontecer a elas, o preço das mesmas será reposto pelas companhias de seguro e as consequências consideradas serão exclusivamente devido a outras causas (como parada da linha de montagem, por exemplo).

Seguiremos a metodologia apresentada anteriormente, seguindo as folhas da árvore da Figura 9 da esquerda para a direita e de cima para baixo.

4.1 Análise de risco para o caso exemplo

4.1.1 Ramo A. Peças com boa qualidade

Folha A1 (Qualidade das peças na saída do fornecedor): Supondo que o fornecedor utilize a metodologia seis sigma, é esperado que a probabilidade de enviar uma peça defeituosa seja inferior a 3,4 ppm, ou 0,34 peças por ano.

O cálculo da consequência está baseado na Figura 11. Se a peça defeituosa for detectada na recepção da fábrica, a peça será recusada, mas isto não atrasa nem impacta a produção e a consequência é considerada nula. Se a peça defeituosa não for detectada na recepção e for montada no veículo, o que ocorre em 50% das vezes, duas possibilidades surgem: ou o defeito é detectado no teste final (o que ocorre em 90% do tempo), caso em que se tem um impacto médio de \$500,00 pelo retrabalho no veículo, ou o defeito não é detectado e o veículo defeituoso é enviado para a concessionária e neste caso tem-se uma consequência estimada em \$5.500,00. Calcula-se a consequência média através da fórmula:

$$\text{Cons.} = P(DR) \times C(DR) + P(nDR) \times [P(DT) \times C(DT) + P(nDT) \times C(nDT)]$$

Equação 2

Onde:

Cons. = consequência das folhas A1 e A2

$P(\cdot)$ = probabilidade do evento (\cdot)

$C(\cdot)$ = consequência do evento (\cdot)

DR = Evento Detecção do defeito na Recepção

nDR = Evento Não Detecção do defeito na Recepção

DT = Evento Detecção do defeito no Teste final

nDT = Evento Não Detecção do defeito no Teste final

Substituindo os valores, vem:

$$\text{Cons.} = 50\% \times 0 + 50\% \times (90\% \times \$500 + 10\% \times \$5.500) = \$500,00 \quad \text{Equação 3}$$

Multiplicando-se a freqüência de ocorrência de RD pela consequência calculada para o evento RD, obtém-se o risco da folha A1 de \$170,00 por ano.

Folha A2 (Transporte Adequado): O transporte neste país é de muito baixa qualidade, em particular no que se refere à passagem pela alfândega, quando as

peças ficam em um grande armazém na frente do órgão esperando a aprovação. A probabilidade de chegar uma peça danificada na fábrica é de 0,01%, o que equivale a 10 volantes por ano.

O cálculo da consequência é idêntico ao realizado para a folha A1 e o risco vale, portanto, \$5.000,00 por ano.

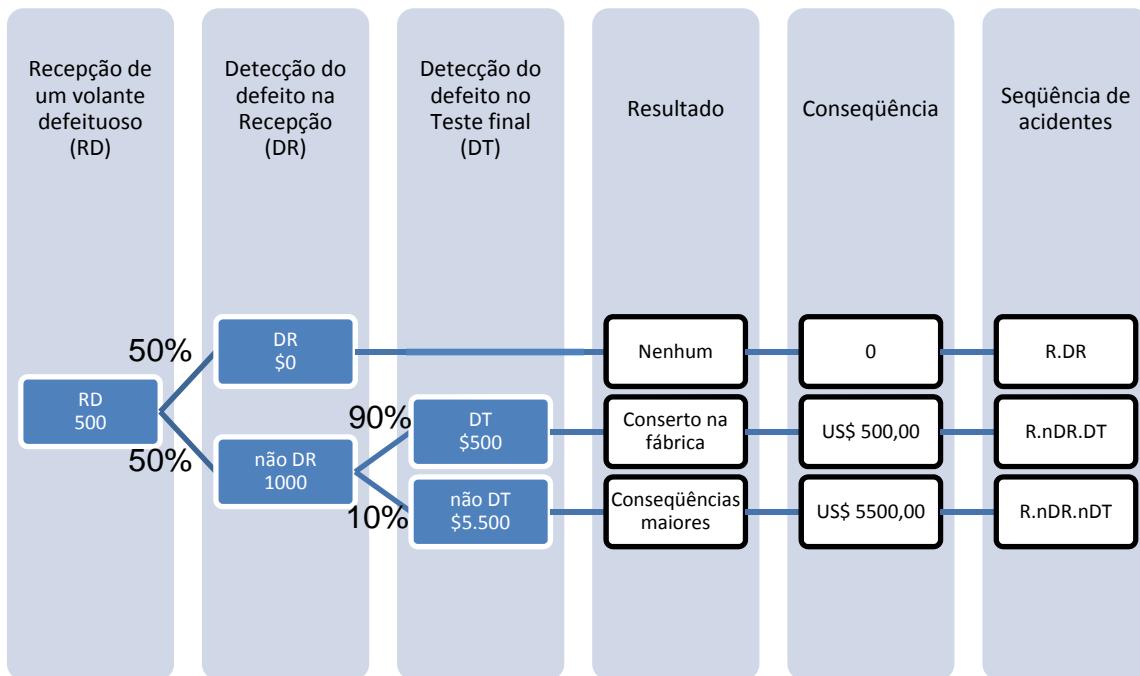


Figura 11: Árvore de Eventos para Recepção de um volante defeituoso

4.1.2 Ramo B. Peças certas

Folha B1 (Boa Previsão): Neste país a oferta é inferior à demanda e a previsão é excelente, sendo irrisória a probabilidade de má previsão e nula a consequência.

Folha B2 (Mix inalterado): o mix ofertado é bastante restrito e graças à diferença entre oferta e demanda do país, a consequência também é nula no caso de alteração do mix.

Folha B3 (Bom Sistema de Informação): como a implementação dos sistemas é recente e a empresa não possui estimativas para o custo anual do uso deles, este item será desconsiderado da análise.

Folha B4 (Boa Qualidade de Preparação Logística): A logística interna do fabricante é de baixa qualidade e ocorrem 0,1 falhas relativas a volantes por ano. A consequência média é de parar a linha de produção por 5 minutos, estimada em \$1.000,00. O risco é, portanto, de \$100,00.

4.1.3 Ramo C. Tempo certo

Folha C1 (Envio de peças no tempo certo): o fornecedor de volantes é confiável e a probabilidade de enviar peças atrasadas é irrisória.

Folha C2 (Boa qualidade dos meios de Transporte): o tempo de transporte é inferior ao tempo de trânsito alfandegário, sendo este fator inerte ao atraso de peças.

Folha C3 (Ausência de imprevistos de transporte – acidentes): embora os dados de acidentes de transporte sejam disponíveis normalmente nas bases de dados das montadoras, calculou-se a probabilidade de acontecer acidentes no transporte de peças a partir dos dados de (U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION; RESEARCH AND INNOVATIVE TECHNOLOGY ADMINISTRATION; BUREAU OF TRANSPORTATION STATISTICS, 2008, p. 2-23), de onde se tem que em 2005 ocorreram 198 acidentes por 100 milhões de milhas-veículo para caminhões de grande porte. Este cálculo será dividido em duas partes: o cálculo do número de acidentes por caminhão enviado e o cálculo do número de caminhões enviados por ano. O cálculo deste item será válido para todas as peças, já que os volantes são enviados junto com outras peças da plataforma de agrupamento e no caso de acidentes, o acidente impactará todas as peças. Desta forma, esse cálculo será realizado somente uma vez em toda a análise de risco.

Se por rodovias a distância entre o centro de agrupamento (próximo ao fornecedor) e a fábrica seja de 3.000 milhas (4.828 km), são esperados aproximadamente 0,006 acidentes por veículo.

Considerando que a fábrica recebe 1 m³ de peças por veículo a ser montado da plataforma de agrupamento, tem-se que anualmente 100.000 m³ são expedidos. Como um caminhão comporta em média 70 m³, são expedidos 1.430 caminhões aproximadamente por ano.

Multiplicando-se o número de acidentes por veículo pelo número de caminhões enviados por ano, obtém-se uma estimativa de 8,5 caminhões acidentados por ano.

Foi suposto que a montadora protege as peças através de um seguro contra acidentes. No entanto, o fato de as peças não chegarem à fábrica causa uma parada da linha de montagem de 70 minutos, equivalente a 70 carros não montados supondo takt time de 1 minuto. Avaliando-se o minuto de parada da linha em \$200,00, a conseqüência total é avaliada em $8,5 \text{ ocorrências} * 70 * \$200,00 = \$120.000,00$.

Folha C4 (Trânsito de documentos alfandegários no tempo): a aprovação pela alfândega do país é independente do transporte e o processo começa com a emissão da comanda de peças. Supondo que o tempo de processamento dos documentos seja descrito por uma distribuição normal de média 3 e variância 1,5; podemos calcular a probabilidade de atraso na produção, considerando-se que as peças são pedidas com 7 semanas de antecedência. A conseqüência é de \$300.000,00 por dia de atraso e será suposta uma função contínua. Desta forma, temos as seguintes equações, onde t é expresso em semanas:

$$P(\text{atraso}) = P(t > 7) = \int_7^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi \cdot 1,5}} \cdot e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{t-3}{1,5} \right)^2} dt \quad \text{Equação 4: Probabilidade de Atraso}$$

$$C(t) = \max [0; (t - 7) \cdot 7 \cdot 300000] \quad \text{Equação 5: Conseqüência de Atraso}$$

Onde:

$P(\cdot)$ = probabilidade de (\cdot)

t = tempo passado a partir da data de envio, em semanas

$C(\cdot)$ = conseqüência de (\cdot)

O risco será, portanto, a integral da multiplicação da função densidade de probabilidade da distribuição normal dos tempos de passagem pela alfândega pela conseqüência expressa na Equação 5, como mostra a Equação 6:

$$R(C4) = \int_7^{\infty} N(3; 1,5) \cdot C(t) dt = \int_7^{\infty} (t - 7) \cdot 7 \cdot 300000 \cdot \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot 1,5} \cdot e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{t-3}{1,5} \right)^2} dt = 3722$$

Equação 6: Cálculo do risco de atraso alfandegário

Onde:

$R(C4)$ = risco relativo à folha C4

$N(a;b)$ = função densidade de probabilidade de média a e variância b .

t = tempo passado a partir da data de envio, em semanas

$C(\cdot)$ = consequência de (\cdot)

O risco é estimado, portanto, em aproximadamente \$3.700,00 por ano.

Folha C5 (Docas disponíveis): atualmente, nesta fábrica não se trabalha com abastecimentos sincronizados e as docas estão subutilizadas, portanto, este item não representa uma consequência maior.

Folha C6 (Mix inalterado): idêntico à folha B2.

4.1.4 Ramo D. Boa quantidade

Folha D1 (Boa Previsão): idêntico à folha B1.

Folha D2 (Mix inalterado): idêntico à folha B2.

Folha D3 (Volume inalterado): semelhante à folha B1 – a fábrica está subcapacitária e uma variação no volume pedido atualmente não impacta a produção, já que existe uma fila de espera.

Folha D4 (Fornecedor tem capacidade produtiva): este fornecedor tem capacidade produtiva e sua taxa de serviço é excelente. Pequenos atrasos no envio de peças não impactam a produção graças ao problema alfandegário.

Folha D5 (Quantidade de peças armazenadas = peças disponíveis): esta folha não interfere nos volantes, já que estes não são peças sensíveis nem pequenas (portanto menos susceptíveis a serem perdidas não intencionalmente).

4.1.5 Ramo E. Lugar correto

Folha E1 (Docas disponíveis): idêntico à folha C5.

Folha E2 (Boa organização logística): cálculo da folha B4 já inclui efeitos deste item.

4.2 Resultados e Gerenciamento de risco do caso exemplo

Na Figura 12 pode-se ver a árvore que tinha sido realizada na Figura 9 com os valores calculados neste exemplo, representando os resultados obtidos. Vale lembrar que as folhas B3 e C3, se referem a todas as peças, e não só ao volante.

Esta análise deve ser feita para todas as peças utilizadas na fábrica para se poder estimar os pesos relativos de cada peça e priorizar ações corretivas. Neste caso, percebe-se a importância da qualidade do transporte nas disfunções da cadeia de suprimentos. Conseqüentemente, deve-se controlar este aspecto, e uma das formas de se fazer isto é fomentando a criação de fornecedores locais de peças críticas de forma a diminuir o transporte internacional reduzindo o risco de acidentes de caminhão, a perda de qualidade e atrasos na passagem da alfândega. Por outro lado, trazer fornecedores ao país de produção também pode causar riscos de pior qualidade do fornecedor, problemas de capacidade produtiva etc.

Para dar um exemplo de gerenciamento de risco através de um cálculo simples de custo-benefício, será calculado o custo de capital do estoque para os volantes durante um ano, usando-se os seguintes dados:

- Custo de capital: 2,5% fora inflação, que não será levada em conta nesta análise
- Número médio de volantes em estoque: 2000 (corresponde a uma semana)
- Custo de um volante: \$20,00

Multiplicando-se estes valores, obtém-se \$1.000,00. Supondo que o custo de estocagem seja de \$0,50 por peça por ano, o custo anual da estocagem é de \$1.000,00. Portanto, o custo total de estocagem por ano é de \$2.000,00. Se quisermos manter duas semanas de estoque de segurança isto custará \$4.000,00, ou seja, \$2.000,00 a mais. Uma semana a mais de estoque diminui o impacto (conseqüência) do atraso na alfândega de \$3.700,00 para \$350,00 (economia de \$1.350 por ano para esta peça), sendo uma opção rentável. Outros fatores devem ser levados em conta nesta análise como o fluxo de modificações que a peça sofre por ano já que a atualização de uma peça incorre em custos suplementares de logística que são maiores quanto maiores forem os estoques no momento.

O maior componente do risco neste exemplo é a qualidade do transporte e, em particular, da passagem pela alfândega, dada a alta freqüência de ocorrência e grande consequênci. Neste item podem ser trabalhadas três frentes: redução de incidentes, aumento de detecção de peças defeituosas e redução da consequênci. Através de um acordo com a alfândega e transportadoras pode-se melhorar a qualidade do transporte através do aumento do cuidado de manipulação das peças e melhora do acondicionamento, reduzindo, assim, a probabilidade de ocorrência de falhas. Se aumentarmos a detecção de peças defeituosas na recepção e aumentarmos a detecção de não-qualidade durante o processo produtivo, menos peças defeituosas serão montadas em veículos, o que diminui a consequênci deste item.

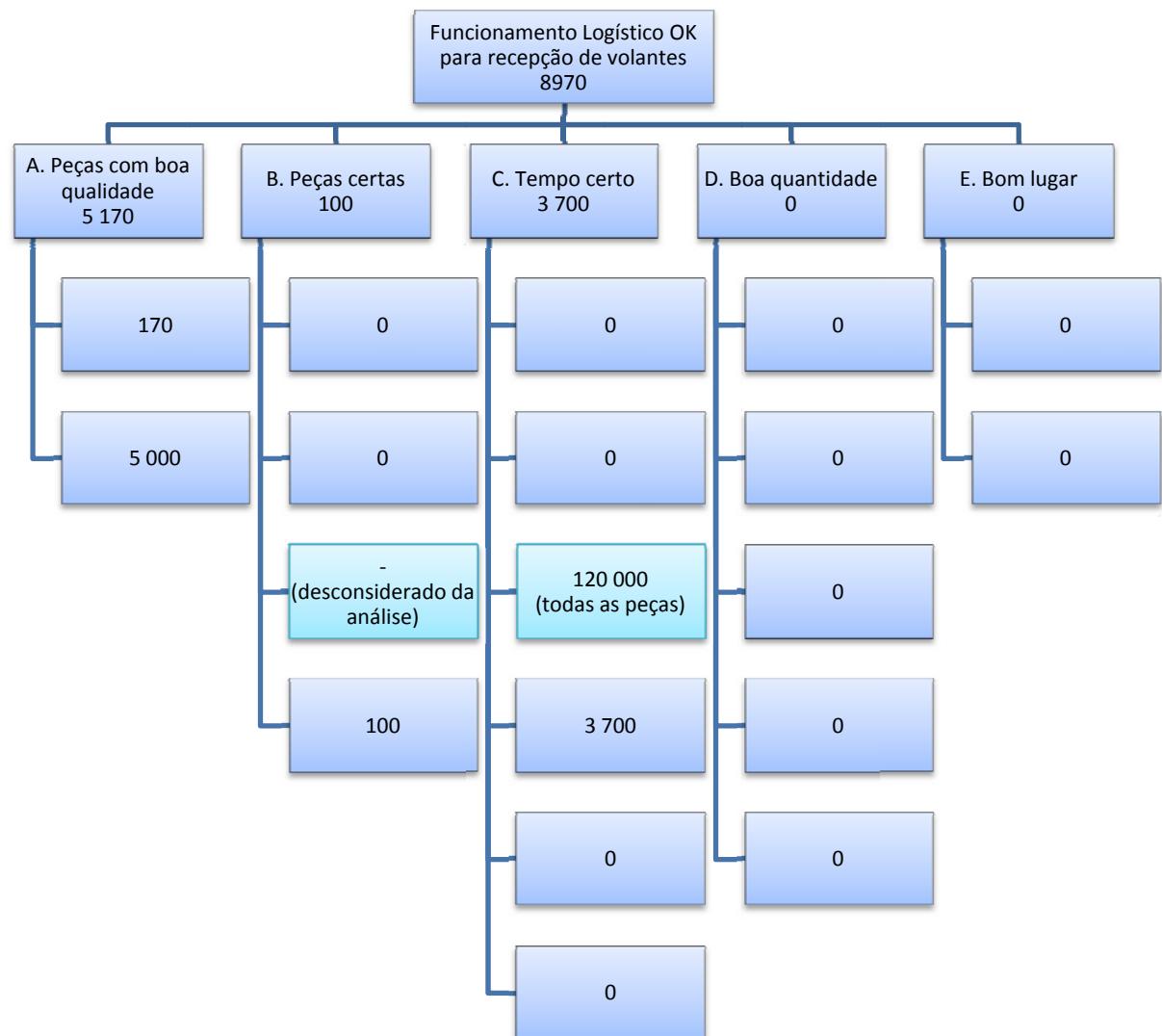


Figura 12: Árvore funcional com valores de risco do exemplo

4.3 Análise de sensibilidade do modelo no caso exemplo

Nesta seção, o objetivo é verificar como o modelo responde a variações nos cálculos de risco das folhas da árvore funcional da Figura 9.

Um dos pontos mais específicos deste modelo é a presença do sistema alfandegário ineficiente. Como o modelo responderia se substituíssemos tal sistema por um sistema alfandegário 100% eficiente?

Em primeiro lugar, a folha A2 teria sua probabilidade diminuída, pois as manipulações diminuiriam e menos peças seriam danificadas na passagem pela alfândega. Sendo este item o mais significante na análise (mais de 50% do risco), uma alteração significativa na probabilidade desta folha causaria uma alteração importante no risco. A folha C4 também seria bastante afetada, já que seu risco seria zerado.

Já a Folha C2 (Boa qualidade dos meios de Transporte) ganharia importância. Para calcular o tempo de chegada de um caminhão somente considerando o tempo de transporte, tomam-se a distância a ser percorrida pelos caminhões de aproximadamente 5000 quilômetros, como estimado no cálculo da folha C3 e a velocidade média dos caminhões, suposta de 50 km/h, resultando no tempo médio de 100 h ou 4 dias aproximadamente, o que é muito inferior às 3 semanas de média de tempo de passagem pela alfândega. Desta forma, seria possível reduzir estoques e aumentar a reatividade às perturbações nas entradas. Em caso de emergência, seria também possível enviar taxis para socorrer uma fábrica levando as peças faltantes.

Considerando estes fatores, seria mais adequado não trazer fornecedores para dentro do país da fábrica, já que os fornecedores externos são supostamente mais eficientes pois produzem peças de maior qualidade e com maior confiabilidade.

É interessante observar também que para a folha C3 (Ausência de imprevistos de transporte – acidentes) foram consideradas estatísticas válidas para os Estados Unidos. No entanto, o caso exemplo trata de um país com infra-estrutura muito inferior àquela encontrada na América do Norte. Sendo assim, seria aceitável multiplicar a taxa de acidentes por um fator. Se multiplicarmos isto por 3, obteríamos o risco final também multiplicado por 3 e valendo $R = \$360.000,00$. Embora isto

represente um acréscimo no risco total, não é muito se comparado ao risco específico dos volantes, que se aproxima de \$9.000,00. Sendo o risco desta folha apenas 40 vezes maior que o risco dos volantes, logo percebe-se que o risco da folha C3 é baixo se pensarmos no número de peças deste veículo, que é da ordem de grandeza dos milhares.

Outra análise interessante seria comparar, do ponto de vista de risco, o fornecedor de volantes estrangeiro atual, que tem experiência e entrega peças com qualidade, e um fornecedor local, que não tem tanta experiência e entrega peças em geral com menos qualidade. No caso do segundo, o ramo que pesaria mais em favor do primeiro seria a qualidade, já que os fornecedores locais trabalham com um nível de qualidade muito inferior ao do seis sigma (0,34 peças defeituosas por ano). Pode-se supor que a taxa de não-qualidade seja de 340 ppm – 100 vezes mais defeitos que o nível seis sigma, o que não é irreal – totalizando 34 peças defeituosas por ano que, se multiplicadas pela consequência anteriormente calculada de \$500,00 por peça defeituosa recebida, totalizaria um risco de \$17.000,00, que sozinho já é superior ao risco calculado para a situação do fornecedor estrangeiro.

5 Conclusões e Recomendações

5.1 Conclusões

A análise de risco – como indicada nos capítulos 3. *Modelo de análise* e 4. *Caso exemplo* – almeja indicar o valor esperado dos gastos com disfunções da cadeia de suprimentos em um determinado período e determinada fábrica. Por meio desta técnica, pode-se proceder a uma análise quantificada de custo-benefício, medindo-se os efeitos dos esforços em aumento de robustez (o que incorre em custos) e comparando-os com as economias geradas pela diminuição do risco (gastos anuais com disfunções). Isso garante que a fábrica estará no ponto ótimo de operação do ponto de vista de riscos e disfunções da cadeia de suprimentos.

A metodologia apresentada pode ser aplicada a qualquer montadora de automóveis, ou adaptada a outras indústrias com algumas alterações. O grande diferencial deste trabalho é a aplicação de uma ferramenta geralmente utilizada na engenharia técnica a um domínio diferente e de importância crescente: a Logística.

Recomenda-se realizar a análise proposta utilizando dados históricos e outras fontes confiáveis, mas mantendo o bom senso e a visão de engenharia para conferir e confirmar a plausibilidade dos resultados.

A análise é também um excelente instrumento de comunicação de alto nível para se trabalhar objetivando-se uma diminuição de custos e de risco.

Quanto ao modelo, percebe-se que este consiste na soma de riscos que, por sua vez, são formados pela multiplicação de uma probabilidade por uma consequência. Assim, o modelo é estável desde que não se altere em demasia os fatores de risco predominantes de forma a alterar a ordem de grandeza dos valores, sendo o modelo menos sensível a modificações nos fatores secundários de risco.

Através do modelo proposto pode-se gerir a cadeia de suprimentos com base em risco de forma a reduzir custos. Além disso, aumenta na empresa o conhecimento dos riscos na cadeia. Isso amplia a chance de sucesso de implantação de futuros projetos ou fábricas e cria uma conscientização dos custos das disfunções logísticas. Vale ressaltar que outro ponto positivo desta obra é a fácil

aplicação do método proposto a quaisquer montadoras de automóveis e possível adaptação sem grandes alterações a outras indústrias.

5.2 Recomendações para trabalhos futuros

É importante destacar que alguns fatores não foram contemplados no modelo, como os efeitos de propagação de perturbações da entrada, que podem ser propagadas pelos sistemas de MRP aos sistemas de ERP da empresa e aos outros atores. Neste trabalho, foi suposto que os sistemas respondem de forma perfeita às entradas e a suas perturbações, sem propagar erros. Isso evidencia o enorme campo de estudos a ser desenvolvido nessa área.

REFERÊNCIAS

BALLOU, R. H. **Business Logistics Management.** Upper Saddle River: Prentice Hall, 1999.

BALLOU, R. H.; tradução YOSHIZAKI H. T. Y. **Logística Empresarial: transportes, administração de materiais e distribuição física.** São Paulo: Atlas, 2007

GAITHER N.; FRAZIER G. **Administração da Produção e Operações.** São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2002

GATTORNA J. L; WALTERS D. W. **Managing the supply chain: a strategic perspective.** Basingstoke: Palgrave, 1996.

KUMAMOTO, H.; HENLEY E. J. **Probabilistic Risk Assessment and Management for Engineers and Scientists.** 2nd Edition. Piscataway: IEEE Press, 1996.

MICHAELIS: **Moderno dicionário da língua portuguesa.** São Paulo: Companhia Melhoramentos, 1998.

MODARRES, M. **What every Engineer Should Know about Reliability.** New York: Marcel Decker, 1993.

SIMCHI-LEVI, D.; KAMINSKY P.; SIMCHI-LEVI E. **Cadeia de Suprimentos: projeto e gestão.** Porto Alegre: Bookman, 2003.

SLACK N.; CHAMBERS S.; HARLAND C. **Administração da produção.** São Paulo: Atlas, 1997

TENNANT, G. **SIX SIGMA: SPC and TQM in Manufacturing and Services.** Gower Publishing, Ltd., 2001.

U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION; RESEARCH AND INNOVATIVE TECHNOLOGY ADMINISTRATION; AND BUREAU OF TRANSPORTATION STATISTICS. **National Transportation Statistics.** 2008. Disponível em: <http://www.bts.gov/publications/national_transportation_statistics/>. Acesso em 23 nov. 2008.