

A APLICAÇÃO DO MODELO DE REDES BAYESIANAS PARA O GERENCIAMENTO DE RISCO DE RUPTURA EM CADEIAS DE SUPRIMENTO

Ana Luisa Borges Silva (*mestranda*, CEPEAD/UFMG)

Marcelo Bronzo Ladeira (Professor CAD/CEPEAD/UFMG)

Marcos Paulo Valadares de Oliveira (*doutorando*, CEPEAD/UFMG)

RESUMO

Este artigo apresenta a aplicação da técnica de redes bayesianas para o gerenciamento de risco de ruptura de estoque em cadeias de suprimento, levando em consideração categorias de risco e eventos correlatos, com o intuito de auxiliar o gerenciamento de atributos como disponibilidade e eficiência de custos nos processos de gestão de estoques na rede. O paper apresenta um modelo teórico conceitual que integra diferentes construtos analíticos, bem como um conjunto de novos percursos para a pesquisa na área de gestão de risco em operações e processos logísticos em cadeias de suprimento.

Palavras-chave:

Gerenciamento de risco; Rupturas de estoques; Efeito Chicote; Cadeias de suprimento; Processos logísticos.

1. Introdução

O gerenciamento integrado dos fluxos de estoques em processamento e estoques finais em cadeias de suprimento é uma atividade complexa, e também uma meta de difícil alcance. Parte da complexidade está em se obter o alinhamento de estratégias e de processos de negócios entre todos os agentes que participam das redes de suprimento, visando dotar a cadeia de atributos como agilidade e eficiência de custos, embora se reconheça a predominância de uma ou outra dessas competências: ser responsiva ou ser enxuta e eficiente. O planejamento relativo aos fluxos de materiais, informação e meios de pagamento em cadeias de suprimento afeta assim, em maior

ou menor grau, o desenvolvimento de novos processos, orientados para a logística integrada e para a otimização dos fluxos ou redução de ineficiências localizadas na estrutura das redes.

Um desses novos processos é exatamente o gerenciamento do risco envolvido em operações. O risco de ruptura de estoque em cadeias de suprimento, especificamente, torna-se rapidamente uma questão relevante para aquelas empresas que objetivam melhor coordenação de seus recursos internos e externos de forma a se tornarem mais responsivas e eficientes, reduzindo *lead times* e minimizando estoques, porém estimando e considerando devidamente os níveis de risco aceitáveis, associados às possíveis rupturas de estoque em determinados elos de uma cadeia de suprimentos.

Ao considerar o movimento das empresas rumo à adoção de uma perspectiva global em suas fontes de fornecimento – algo atualmente possível com custos decrescentes em função das novas tecnologias de informação, que permitem maior conectividade para cotação de preços e condições de suprimento para fornecedores de classe mundial e diferentes nichos de mercados globais – é inevitável que neste contexto possam ser observadas oportunidades e novos desafios. Se por um lado fontes globais de fornecimento proporcionam preços reduzidos de compra e acesso cada vez mais amplo aos mercados, por outro, a complexidade operacional de um canal de distribuição global aumenta o nível de risco na cadeia de suprimentos devido ao aumento no risco de rupturas no fluxo tanto de produtos quanto de serviços, bem como na magnitude de tais rupturas (ELKINS *et al.*, 2005).

No âmbito das cadeias de suprimento, existem inúmeras causas de ruptura de estoque, com diferentes probabilidades de ocorrência. Adicionalmente, tem-se que os modelos de gestão de estoque baseados em dados históricos não consideram devidamente as mudanças futuras em relação a questões econômicas, políticas e sociais, de modo que as decisões de estoque muitas vezes poderão não ser adequadas, ou completamente previstas os seus resultados, em função dos níveis de incerteza. Por outro lado, modelos probabilísticos como redes bayesianas, ao considerar os impactos dos eventos futuros, podem ser utilizados em auxílio ao gerenciamento dos riscos de ruptura em processos de suprimento.

Este artigo, de natureza exploratória e de caráter teórico, propõe-se a discutir aspectos relacionados ao gerenciamento de riscos em cadeias de suprimento, destacando a aplicação do modelo probabilístico de redes bayesianas. Após esta breve introdução, a seção a seguir compila algumas fontes bibliográficas relacionadas aos temas Gestão em Cadeias de Suprimentos, Gestão de Estoques, Gestão de Riscos em Cadeias de Suprimentos e Redes Bayesianas. Na seção 3, o modelo hipotético de pesquisa é apresentado, contemplando a mensuração da probabilidade de risco de um fornecedor através das probabilidades dos eventos causadores de ruptura de estoques. A seção 4 é referente às conclusões do trabalho, onde também são apontadas questões de pesquisas que poderão ser investigadas em novos estudos sobre o tema.

2. Revisão de Literatura

Gestão da Cadeia de Suprimentos

De acordo com a definição do *Council of Supply Chain Management Professionals* (CSCMP, 2008), a logística consiste em um dos processos fundamentais do conceito de *supply chain management*. Segundo o CSCMP (2008), a logística é a parte do gerenciamento da cadeia de suprimentos responsável pelo planejamento, implementação e controle, de modo eficiente e eficaz, do fluxo e armazenamento de produtos (bens e serviços) e informações relacionadas, com vistas ao atendimento das necessidades dos clientes. Por sua vez, o escopo e a complexidade da *supply chain management* são significativamente maiores se comparados aos requisitos de coordenação e integração dos processos logísticos empresariais, uma vez que o gerenciamento da cadeia de suprimentos é uma meta somente passível de ser atingida se presente a integração efetiva dos principais processos-chave de negócios entre todos os membros ou agentes que participam direta ou indiretamente dos fluxos de bens, informações e pagamentos no contexto da cadeia ampliada de valor. A cadeia de suprimentos é, assim, definida como uma rede de organizações que estão envolvidas em diferentes processos e atividades que produzem valor na forma de produtos e serviços entregues ao consumidor final (MENTZER *et al.*, 2001; CHRISTOPHER, 1997).

A atividade de projeto e de planejamento de sistemas logísticos é complexa e representa sempre um desafio para qualquer empresa, independentemente de seu porte, do seu setor de atuação ou da posição que ocupa em uma cadeia de suprimentos. Influenciam o escopo e a natureza de tal planejamento o nível de complexidade das operações da empresa, as características e as fases do produto em seus ciclos de vida, as características da demanda e do mercado de fornecedores da organização, o grau de intensividade em TI, entre outras variáveis relevantes.

Segundo Ballou (2004), as principais áreas do planejamento logístico podem ser reunidas em quatro dimensões: níveis de serviço aos clientes, localização de instalações na rede logística, decisões sobre estoques e decisões sobre transportes. É importante que se assegure a integração e a coerência das decisões tomadas pela gerência de operações em relação a essas quatro dimensões do planejamento. Tal importância se deve primeiramente ao fato do projeto do sistema logístico poder ser afetado radicalmente pelos níveis de serviço que a empresa pretenda oferecer aos seus clientes. No âmbito da cadeia de suprimentos, níveis inferiores ou superiores de serviços logísticos dependerão sempre do número de instalações disponíveis, bem como da escolha dos modais e das políticas de transporte adotadas. Em segundo lugar, porque a definição do número, do tamanho e da localização das instalações logísticas afetam as escolhas concernentes a transportes e a estoque, definindo custos de distribuição e influenciando decisivamente alguns atributos de serviço, tais como a disponibilidade e o *lead time* de atendimento dos pedidos. Em terceiro lugar, porque as decisões de estoque estão intimamente vinculadas às decisões de localização, bem como às estratégias de coordenação dos fluxos do produto na cadeia de suprimentos (*Push system, Pull system*) e às políticas de produção adotadas (*Make-to-order, Make-to-stock, Assembled to order, Engineering to order*).

Chopra e Meindl (2003), ao discutirem o problema do alinhamento estratégico entre decisões logísticas e estratégias competitivas, sugerem que projetar sistemas logísticos implica no empreendimento de esforços em sentido seqüencial, sendo a primeira etapa bastante crítica. Em um primeiro momento, mostra-se fundamental a compreensão das características da demanda e a segmentação de grupos de clientes a partir de variáveis como a quantidade de produto em cada lote ou pedido, a variedade de produtos a cada ordem de compra, os níveis de serviço exigidos pelos clientes em relação à disponibilidade de produtos e a consistência nos prazos de entrega, o preço do produto, a taxa de inovação do bem e, por fim, o *lead time* de resposta exigido pelos diferentes segmentos de cliente naquele mercado.

Há, portanto, nas atividades de projeto e de planejamento dos sistemas logísticos, a orientação das empresas para um posicionamento que se mostre adequado no espectro custo vs. responsividade, quando são considerados os atributos de desempenho mais valorizados pelos seus clientes. Uma vez que as decisões gerenciais que objetivam o aumento da responsividade para um determinado sistema logístico inevitavelmente envolvem custos adicionais para o sistema, tornam-se rapidamente compreensíveis as razões pelas quais as empresas, em suas atividades de planejamento, procuram definir uma solução em termos de eficiência (de custos) que seja adequada a um determinado nível de responsividade, nível este definido pelas características da demanda e pelos atributos valorizados por cada segmento de clientes a ser atendido pela empresa.

O ciclo de vida dos produtos, bem como as suas próprias características intrínsecas, são elementos que afetam, paralelamente às características da demanda, a natureza e o processo do planejamento logístico. Fisher (1997) destacou o fato de que, se consideradas conjuntamente algumas características dos produtos (ciclos de vida, padrões de demanda, variedade e aspectos relacionados às exigências de serviços – *lead time* e disponibilidade, entre outros), estes cairiam inevitavelmente em uma de duas categorias – produtos funcionais e produtos inovadores –, ensejando dois tipos de projetos de cadeias, orientadas majoritariamente pelos objetivos de eficiência ou de responsividade. Para Fisher (1997), produtos funcionais podem ser caracterizados por longos ciclos de vida (de um a dois anos), padrões mais estáveis de demanda, menores taxas médias de erro nas previsões (em média 10%), menores margens de contribuição por unidade vendida (de 5% a 20% do preço de venda) e taxas médias de *stockout* muito baixas (entre 1% e 2%). Produtos inovadores, ao contrário, podem ser caracterizados distintamente por curtos ciclos de vida (de três meses a um ano), maior instabilidade na configuração da demanda, maior índice de erros nas previsões (de 40% a 100%), maiores margens de contribuição por unidade vendida (de 20% a 60% do preço de venda) e taxas médias de *stockout* mais elevadas (de 10% a 40%).

No caso de produtos funcionais, as capacidades logísticas das cadeias de suprimento deveriam priorizar a eficiência na formulação das estratégias de transporte (com meios de transporte mais baratos e com políticas que priorizem a redução do custo por unidade transportada), de *lead times* (procurando reduzi-los sem sacrificar custos), de estoques (minimizand-os para reduzir custos), de manufatura (reduzindo custos através de escalas na fabricação), de preços (reduzindo-os agressivamente para assegurar maiores vendas, mesmo que a partir de margens mais baixas por produto vendido), e de gestão de fornecedores (selecionando-os prioritariamente com base em custo e qualidade). No caso de produtos inovadores, ou de produtos que se encontrem no início

do seu ciclo de vida, as prioridades podem ser radicalmente diferentes. Nesse caso, as capacidades logísticas deveriam priorizar a responsividade nas estratégias de transporte (com modais mais rápidos e políticas de transporte, o que corresponde a maiores despesas em função da velocidade dos modais), de *lead times* (reduzindo-se os tempos de investida, mesmo ensejando sacrifícios do ponto de vista dos custos da operação), de estoques (mantendo-se estoques reguladores para atender à maior incerteza implícita da demanda), de manufatura (assegurando-se flexibilidade nos processos de produção para atender a uma demanda mais incerta), de preços (mantendo-se uma política de preços que assegure margens mais altas, pois o preço não é o atributo mais relevante no comportamento de compra dos clientes) e de gestão de fornecedores (selecionando-os com base na velocidade, flexibilidade e qualidade).

A complexidade inerente aos fluxos de transações nos mercados internacionais seja em mercados intermediários (entre empresas) ou finais (com consumidores finais), afeta as características do projeto das redes logísticas crescentemente, fazendo uso de fornecedores globais para inúmeros bens e serviços. Essa globalização das fontes de suprimento estimula a busca por maneiras mais eficazes de coordenar o fluxo de materiais para dentro e fora da empresa, de modo que um fator crítico para tal coordenação é o relacionamento integrado com os fornecedores. O processo de monitoramento e compartilhamento de informações na cadeia de suprimentos, através de soluções tecnológicas ainda melhores, contribui para o efetivo gerenciamento dos riscos de suprimento (PECK, 2006).

Gestão de Estoques e problemas de coordenação em cadeias de suprimentos

A condição para uma melhor administração dos estoques ao longo de cadeias de suprimento está em tornar maior a visibilidade do fluxo de recursos e de informações que percorrem toda a cadeia – quanto mais reconhecidos e monitorados forem esses fluxos, menor será a necessidade de estoques de segurança para atender à demanda e às necessidades de produção. Em linhas gerais, isso significa que quanto menos informação sobre produto e mercado possui a empresa, ou quanto mais restritos mostram-se os seus fluxos de informação com outras empresas, maior será a necessidade de elementos de precaução (estoques, fundamentalmente) para atender às flutuações na demanda, o que traz impactos diretos nas margens de lucros da firma.

Como as cadeias de suprimento mais convencionais compreendem entidades empresariais com o mínimo de transparência em relação às informações relacionadas ao mercado, é inevitável que essas cadeias procurem usar estoques para se precaverem das oscilações e incertezas da demanda. Um dos principais problemas encontrados nas decisões de suprimento é a variabilidade entre a demanda prevista e a demanda real. A variabilidade nos padrões de emissão de pedidos e na demanda de uma cadeia muitas vezes é ocasionada pela modificação dos pedidos, contrariando a previsão de demanda e ocasionando mudanças significativas em termos de quantidade e *mix* de produtos, e os efeitos de tais mudanças naturalmente se propagam na cadeia de suprimentos, para agentes situados à montante na rede.

Por conseguinte essas cadeias mantêm o estoque muito além do necessário, duplicando-o a cada interface comprador/fornecedor. Tal fato não acarreta apenas uma sobrecarga significativa em termos de capital de giro, mas fundamentalmente, faz com que essas cadeias tornem-se lentas em

responder à demanda volátil, sobretudo do ponto de vista da flexibilidade qualitativa.

Um problema adicional das cadeias de abastecimento com elevados níveis de estoques posicionados entre clientes e fornecedores é que as pequenas mudanças na demanda do mercado final aumentam e se distorcem na medida em que se movem para trás na cadeia. Quanto mais distante estiver o elo da fonte da variabilidade, maiores serão os efeitos negativos decorrentes das mudanças na previsão de demanda. Tal efeito, reconhecido como efeito chicote, é gerador de um considerável custo oculto para a cadeia de abastecimento como um todo. O efeito chicote, também conhecido como efeito Forrester (FORRESTER, 1961), tem suas raízes no fato de que, em uma cadeia com vários membros, com cada um agindo independentemente do outro e compartilhando apenas o mínimo de informações, é muito provável que até pequenas alterações na demanda do usuário final resultem em uma ampliação exacerbada da demanda (à montante).

As causas desse fenômeno de “onda gigantesca” ou “chicotada” assentam-se principalmente no fato de que estoques independentes a cada fase da cadeia agem como reservas que distorcem as exigências e, na verdade, ocultam dos fornecedores a demanda real. Um estoque superdimensionado em um atacadista ou varejista, por exemplo, oculta a demanda real para um fornecedor à montante do processo, pelo menos até o momento de um novo pedido de ressuprimento do atacadista ou varejista. O resultado é uma instabilidade severa nos programas de produção nas empresas à montante da rede, afetando negativamente as eficiências globais da cadeia, com empresas tendo de trabalhar horas extras quando o chicote oscila para cima e pagar caros períodos de ociosidade quando o chicote oscila para baixo. Isso implica custos crescentes que, no final, serão pagos pelo único "elo" que alimenta a rede de valores monetários – o usuário final. Em outras palavras, estas ineficiências somam-se, ao longo da cadeia de suprimentos, para contribuir com aumentos no preço do produto ao cliente final.

Uma das fontes de distorção da demanda observada pelos diferentes elos da cadeia vem do fato que, muito provavelmente, cada um dos elos enxerga apenas sua demanda imediata, que vem distorcida pelas políticas de estoques dos seus clientes, dos clientes dos seus clientes, e assim por diante. Como as políticas de estocagem dos clientes, clientes dos clientes, e assim por diante, são independentemente estabelecidas (já que não há coordenação da rede), as distorções crescem em amplitude quanto mais à montante da rede estiverem localizadas essas empresas.

A ausência de um fluxo contínuo de informações de mercado entre os vários elos da cadeia, além de demandas distorcidas, pode gerar indisponibilidade de produtos causada pela incapacidade de um fornecedor de atender um pedido diferente daquele que era previsto. Uma falha de suprimento em determinado elo pode afetar todos os elos subsequentes, caso as empresas não tenham agilidade e flexibilidade para enfrentar uma ruptura em seus estoques. Não apenas distorções nas demandas, mas também problemas na consistência dos prazos de entrega de mercadorias ou problemas de qualidade (não-conformidade) dos produtos, ou até mesmo situações de exceção como greves de funcionários ou catástrofes naturais, dentre outros elementos, são aspectos que representam riscos em maior ou menor grau e, conseqüentemente, exercem impactos no abastecimento de toda a cadeia.

A avaliação e o gerenciamento de riscos em cadeias auxiliam o controle das condições de suprimento e permitem reduzir, de forma preditiva, a ocorrência e os impactos de rupturas de estoques (ZSIDISIN *et al.*, 2004). Neste sentido, o gerenciamento de risco minimiza a probabilidade de eventos imprevistos, proporcionando uma maior continuidade no abastecimento, com o mínimo de falhas.

Gestão de Riscos em Cadeias de Suprimentos

Em qualquer tipo de relacionamento em cadeias de suprimentos há algum nível de risco ou incerteza. De acordo com Elkins *et al.* (2005), a gestão de risco em cadeias de suprimentos é uma tarefa desafiadora, pois o risco deriva de uma variedade de múltiplas fontes, tais como incêndios, atrasos no transporte, redução na velocidade do trabalho ou mesmo a interrupção (greves) e desastres naturais. Adicionalmente, empresas que operam de forma enxuta não possuem grandes estoques ou excesso de capacidade para cobrir perdas de produção causadas por esse tipo de interrupção. Como resultado, problemas no fluxo de materiais podem rapidamente gerar conseqüências em toda a rede de suprimentos.

Neste sentido, a rede de suprimentos é inerentemente vulnerável a rupturas e falhas em qualquer um dos elementos que envolvem suas operações (RICE & CANIATO, 2003; BLACKHUST *et al.*, 2005). Enquanto para muitas empresas ainda não foi possível quantificar o custo de rupturas ou crises em suas cadeias de suprimentos, algumas empresas têm apresentado alguns avanços nesta área. Como exemplo, Rice & Caniato (2003) apresentaram resultados de uma pesquisa executada em uma empresa que estima um impacto de \$50 a 100 milhões de dólares no custo para cada dia que a rede de suprimentos permanece em ruptura.

Zsidin (2003) define risco de suprimento como uma possibilidade de ocorrência de um incidente associado ao abastecimento interno a partir de uma ruptura individual de um fornecedor ou do mercado de suprimento como um todo, o que resulta na incapacidade da empresa em atender as demandas dos clientes ou em ameaças à vida e à integridade física e segurança de seus clientes. Segundo Handfield & McCormack (2007), existem seis categorias de risco divididas entre características intrínsecas do fornecedor e fatores situacionais. A cada categoria estão associados eventos que resultaram na ruptura de estoques daquele fornecedor, o que gera impactos negativos para o mesmo e para seus clientes. A figura 1 apresenta a classificação proposta por Handfield & McCormack (2007), abordando desde as categorias de risco até os efeitos da ruptura de estoque do fornecedor.

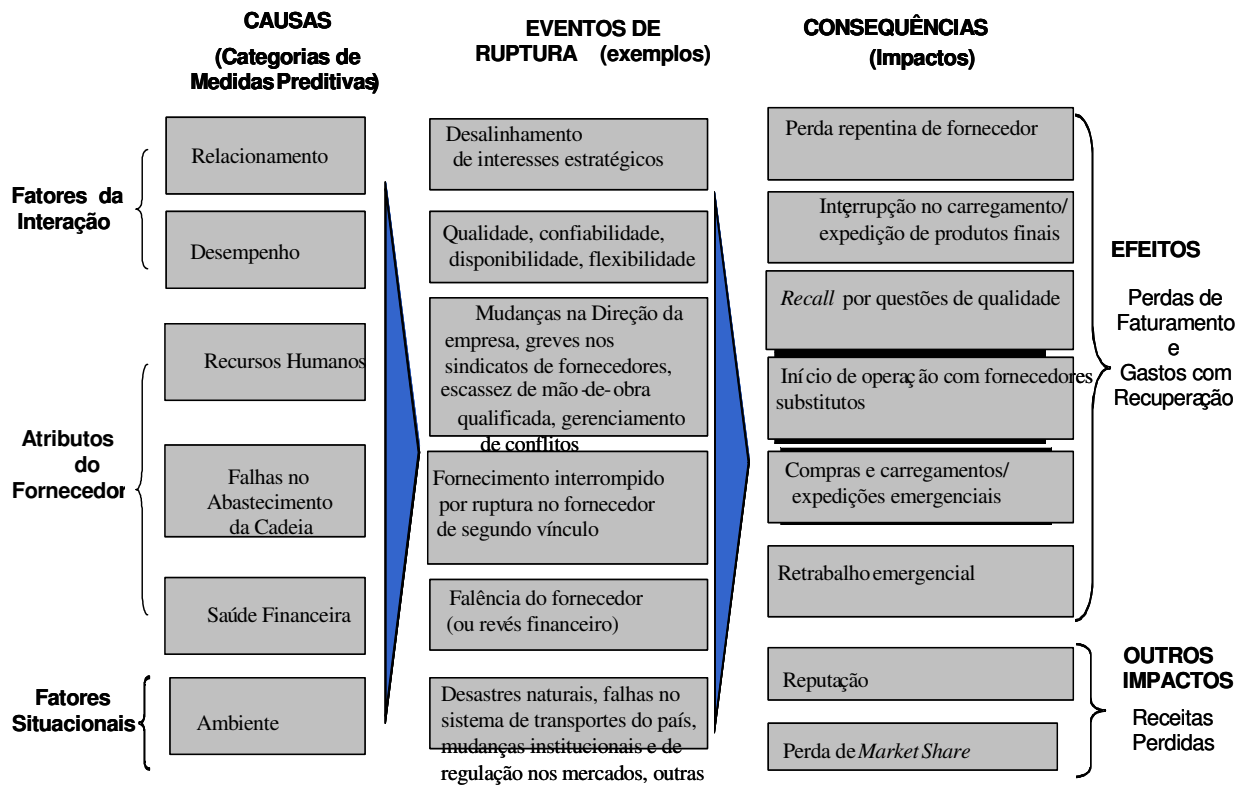


FIGURA 1: Estruturação das Relações de Risco de Suprimento
Fonte: Handfield e McCormack (2007)

Os fatores de risco não são mutuamente exclusivos, sendo que a ocorrência de um fator pode implicar na ocorrência de outro. Se determinado fornecedor não pode ampliar suas economias de escala ou de escopo no curto prazo para atender uma demanda crescente ou exigências de flexibilidade no *mix* de produtos, ele poderá ser um elemento restritivo localizado no sistema. Mas também se este mesmo fornecedor não puder se adequar às mudanças tecnológicas no longo prazo, ele também provavelmente não será capaz de produzir e atender os volumes exigidos por essa demanda crescente no futuro (ZSIDIN, 2003).

Ao compreender bem as fontes, bem como a classificação dos riscos de suprimento, torna-se possível estabelecer estratégias que permitam minimizá-los de maneira eficiente. Isto é, quando se detecta que a ruptura de estoque ocorreu por um atraso de entrega do fornecedor dado sua restrição de capacidade para atender a todo o pedido no tempo desejado, pode-se trocar de

fornecedor, dividir o pedido entre mais fornecedores ou mesmo adotar outra solução que pareça ser mais adequada ao novo contexto.

Redes Bayesianas

Os modelos determinísticos de gestão de estoques como, por exemplo, o Lote Econômico de Compra (LEC), muitas vezes assumem premissas que não condizem com o contexto real em que as decisões de estoque devem ser tomadas. Assume-se, por exemplo, que a demanda é determinística e é constante ao longo do tempo, em que seu fator constante é calculado por uma projeção simples de vendas baseada na experiência passada de vendas. Valores históricos, entretanto, só valem se as condições permanecerem as mesmas, de modo que essa projeção não considera adequadamente a natureza da demanda do cliente.

Como as empresas operam em mercados altamente competitivos, dados históricos não apresentam uma fonte adequada para definir as estratégias de estoque. As Redes Bayesianas, por outro lado, permitem a consideração de variáveis intervenientes nas estratégias sob a luz das condições presentes de negócio, sem o apoio exclusivo de eventos passados (PHILIPS & DAWSON, 1968). Com isso, torna-se possível determinar os níveis de estoque com maior acurácia ao considerar as influências sobre a operação causada por mudanças econômicas e sociais. O modelo bayesiano define previamente probabilidades aos níveis de estoque, permitindo a incorporação de eventos futuros no processo de decisão (PHILIPS & DAWSON, 1968).

As Redes Bayesianas constituem um modelo gráfico que representa as relações probabilísticas entre as variáveis de um sistema. Tais redes são sempre representadas por um conjunto de vértices (V) e um conjunto de arestas. Cada vértice representa uma determinada variável aleatória e cada variável deve ter um número finito de estados mutuamente exclusivos, como Verdadeiro e Falso. Cada aresta representa uma relação causal entre as variáveis, sendo que a aresta é direcionada da causa para o efeito com o símbolo de uma seta (HAMMOND & O'BRIEN, 2001). A figura 2, a seguir, representa uma rede com três nós (A, B e C), com as respectivas probabilidades de cada estado da variável.

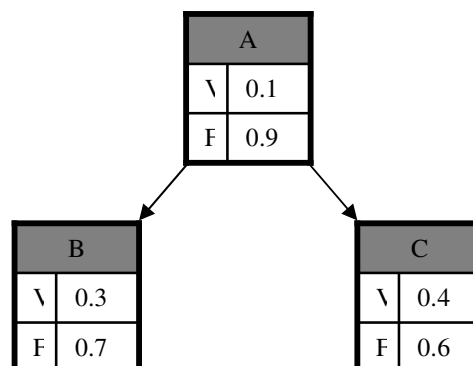


FIGURA 2: Representação de uma rede probabilística
Fonte: Elaborado pelos autores

A modelagem bayesiana permite a inclusão de dados subjetivos de especialistas, no caso de insuficiência de informações passadas. Além disso, tal modelagem permite a medição de forma sistemática da ocorrência de fatores de risco que possam levar a eventos de baixa frequência e alta severidade. Como consequência, tais modelos são utilizados para medir o risco operacional, identificar a influência dos fatores de risco, calcular a sensibilidade nos eventos de perda e simular a distribuição de perdas e cenários de perda excessiva (MARQUES & DUTRA).

Os modelos probabilísticos apresentam-se como alternativas para contornar os problemas normalmente encontrados na medição de riscos operacionais, uma vez que é comum a insuficiência de dados e, normalmente quando existem, são dados históricos. As Redes Bayesianas podem ser utilizadas para tomar decisões baseadas em probabilidades, decidir quais evidências adicionais devem ser observadas a fim de se obter informações úteis do sistema e analisar o sistema a fim de buscar os aspectos do modelo que possuam maior impacto sob as variáveis de consulta (MARQUES & DUTRA).

Em relação aos outros modelos probabilísticos disponíveis, as Redes Bayesianas apresentam vantagens por serem facilmente compreendidas, dado que as relações entre as variáveis são, em grande parte, intuitivas. Outra vantagem é que este modelo provê informações sobre o efeito de possíveis intervenções nas variáveis da rede, bem como demanda menor tempo computacional de solução, uma vez que normalmente os algoritmos de Redes Bayesianas são menos complexos que outros modelos probabilísticos.

Contudo, as Redes Bayesianas se fundamentam em distribuições de probabilidade que, embora não sejam conhecidas a priori, não mudam ao longo do tempo para as variáveis contempladas em um modelo. Outra consideração está relacionada ao nível de confiança de um item. Embora a taxa de ruptura seja desconhecida por ser inicialmente indeterminada, ela não varia significativamente ao longo do tempo, e será cada vez mais exata quando os dados reais de ruptura forem fornecidos (AZOURY & MILLER, 1984).

Quando se trata da gestão de estoques, a incerteza sobre a ocorrência de rupturas é inerente ao processo de gestão de estoque, dado que existem inúmeras variáveis externas e internas que podem afetar o nível de estoque. Isto é, nas decisões de estoque há risco operacional envolvido. A ruptura de estoque em determinado elo repercute em toda a cadeia de suprimentos, uma vez que há variabilidade na entrega de matérias-primas e produtos (AZOURY & MILLER, 1984). As Redes Bayesianas, portanto, podem ser utilizadas como modelos preditivos para o gerenciamento de ruptura de estoques em cadeias de suprimento.

3. Modelo Teórico

O modelo conceitual proposto neste artigo tem como base os trabalhos de Handfield & McCormack (2007) sobre Gerenciamento de Risco de Suprimento. Tais autores objetivam a identificação de variáveis direcionadas para a mensuração do risco de ruptura de estoques por parte dos fornecedores. De acordo com Handfield & McCormack (2007), existem seis categorias de risco para um fornecedor, sendo elas: Relacionamento, Desempenho, Recursos Humanos, Falhas no Abastecimento da Cadeia, Saúde Financeira e Ambiente.

Para cada categoria de risco, existem inúmeros eventos que podem ser causas de rupturas no estoque de um fornecedor, o que, por sua vez, pode gerar rupturas em toda a cadeia de abastecimento.

Com o objetivo de avaliar a probabilidade de ruptura em cada evento e, conseqüentemente identificar a probabilidade de ruptura de cada fornecedor, ou seja, o risco de ruptura gerado pelo fornecedor na cadeia de suprimentos, utilizou-se como referência o trabalho de Handfield & McCormack (2007) para a construção dos 25 indicadores básicos utilizados neste estudo, representados pelos seus respectivos índices de probabilidade P(E1) a P(E25) (Tabela 1).

	Categories de Risco	Eventos	Probabilidade
P R O B A B I L I D A D E D E R I S C O D O F O R N E C E D O R	Relacionamento	Falta de compartilhamento de dados entre cliente e fornecedor	P(E1)
		Inexperiência do fornecedor	P(E2)
		O cliente não é crítico para o fornecedor	P(E3)
		Interesses conflitantes de cliente e fornecedor	P(E4)
	Desempenho	Controle ineficaz da qualidade dos processos e dos produtos	P(E5)
		Baixa responsividade no suporte técnico	P(E6)
		Incapacidade de melhoria contínua	P(E7)
		Falta de flexibilidade para lidar com incidentes	P(E8)
		Inabilidade de responder a variações na demanda	P(E9)
		Falhas ou atrasos na entrega	P(E10)
	Recursos Humanos	Erros ou faltas da força de trabalho	P(E11)
		Rompimento de sociedade ou a incorporação de novas empresas	P(E12)
		Greve sindical	P(E13)
	Falhas no abastecimento da cadeia	Falhas na entrega do fornecedor de segunda ordem	P(E14)
		Mudanças no processo produtivo	P(E15)
		Falta de comunicação entre cliente e fornecedor	P(E16)
		Única fonte de suprimento	P(E17)
		Imprecisão dos dados	P(E18)
	Saúde Financeira	Revés financeiro ou falência do fornecedor	P(E19)
		Falta de compartilhamento de dados financeiros entre cliente e fornecedor	P(E20)
	Ambiente	Incapacidade de acompanhar tendências dinâmicas do mercado	P(E21)
		Reestruturação dos processos causada por fusões ou aquisições	P(E22)
		Mudanças nas regulamentações ou ambiente legal/institucional	P(E23)
		Falhas no transporte	P(E24)
		Desastres ambientais	P(E25)

TABELA 1: Eventos de risco classificados por categorias
Fonte: Adaptado de Handfield & McCormack (2007)

Com a técnica de redes bayesianas, pode-se calcular a probabilidade de ruptura do fornecedor a partir das probabilidades de ocorrência dos eventos. Isto é, determina-se o risco do fornecedor pela probabilidade de ruptura do mesmo dado que um ou mais eventos ocorreram. A mensuração das probabilidades dos 25 indicadores, portanto, é a base para o cálculo de risco de cada fornecedor da rede.

De modo análogo, pode-se determinar a probabilidade de ruptura da rede de suprimentos. Nesse caso, os indicadores são os vários fornecedores que compõem a rede e o evento é a ruptura em determinado fornecedor. Como as probabilidades de risco de cada fornecedor já estarão calculadas, pode-se calcular a probabilidade de ruptura da rede dado que houve falha no suprimento de um ou mais fornecedores.

Agrupando cada evento e suas respectivas categorias, torna-se possível idealizar um modelo hipotético que possa identificar o risco de ruptura da cadeia de suprimentos com base no risco de ruptura de cada fornecedor (Figura 3).

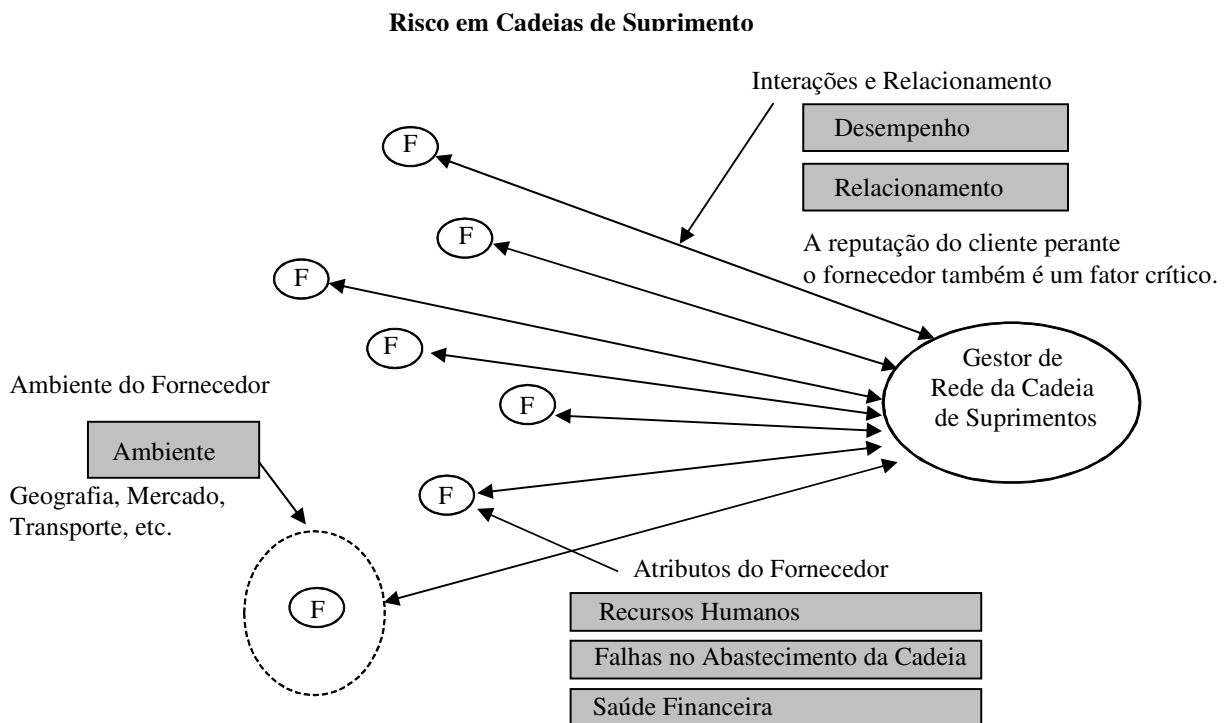


FIGURA 3: Modelo hipotético para gestão de riscos em cadeias de suprimentos

Fonte: Elaborado pelos autores

Este artigo propõe, a partir do modelo hipotético representado na figura 3, que a mensuração do risco de ruptura em cadeias de suprimentos pode ser viabilizada por meio de indicadores (Tabela 1) que possibilitem a mensuração do risco de ruptura gerado por cada empresa pertencente à uma ou mais cadeias de suprimentos. Desta forma, tomando-se o risco de ruptura apurado para cada empresa, tornar-se-á possível construir uma rede bayesiana que indique a probabilidade ou o risco de ruptura, reduzindo assim os níveis de incerteza para os processos de tomada de decisão.

Das múltiplas fontes potenciais de riscos de ruptura na cadeia de suprimento, outras associações outras também poderiam ser estudadas e investigadas, aumentando, assim, o poder preditivo do modelo, tais como:

1. Quais são os requisitos estruturais necessários para a implementação de modelos de gerenciamento de riscos em cadeias de suprimentos?
2. Como deve ser conduzido ou realizado o planejamento do risco para toda a cadeia de abastecimento?
3. Em que medida o desenvolvimento de novas capacidades de processos afetam os níveis de risco de ruptura nas redes?
4. O tipo de atributo valorizado majoritariamente pela rede, agilidade ou eficiência de custos, afeta os níveis de risco ou as incertezas relacionadas a rupturas de estoques nos contextos da logística integrada e do gerenciamento da rede de suprimentos?
5. O modelo de redes bayesianas poderia ter um maior poder preditivo se vier utilizado conjuntamente com uma análise prévia relativa à segmentação de fornecedores, seguindo-se estruturas de governança específicas de parceria ou mercado?
6. Quais os efeitos positivos do gerenciamento de riscos de ruptura sobre os níveis de estoques em processos e de estoques finais nas cadeias de suprimentos?

Estas e outras questões demandarão hoje e futuramente parte da atenção dos pesquisadores e profissionais da área para o tema, tendo em vista que objetivos de maior integração de fluxos no contexto do gerenciamento de cadeias de suprimento inevitavelmente impõem, como condição fundamental e crítica, a necessária avaliação dos riscos que acompanham a maior vinculação das unidades de negócios, dos vários agentes, em torno de objetivos comuns para a cadeia rede suprimentos. O gerenciamento de riscos poderá ser considerado assim, futuramente, um elemento importante, direta ou indiretamente, para os objetivos de responsividade e eficiência de custos em cadeias de suprimentos.

4. Considerações Finais

O modelo conceitual apresentado neste trabalho tem como orientação o gerenciamento do risco de rupturas de estoques em cadeias de suprimentos, o que tem uma implicação estratégica e absolutamente crítica para as empresas: a oportunidade de que, conhecendo melhor os riscos de ruptura, os níveis de estoque na cadeia possam ser minimizados ao mesmo tempo em que níveis de serviço superiores poderão ser garantidos. O modelo também poderá ser útil na determinação dos tipos de relacionamentos a serem desenvolvidos entre empresas de cadeias de suprimento, dada a maior clareza em relação aos atributos de desempenho que estão sendo monitorados em cada relacionamento. Desta forma, os custos de gestão de estoques na cadeia, bem como os custos de transação podem ser minimizados, pelo menos potencialmente, viabilizando a maior competitividade do conjunto das operações no contexto da rede de suprimentos.

5. Referências Bibliográficas

AZOURY, K. S.; MILLER, B. L. A comparison of the optimal ordering levels of Bayesian and non-bayesian inventory models. *Management Science*, v.30(8), 1984.

BALLOU, R. B. *Logística – Administración de la Cadena de Suministro*. 5ª ed. México: Pearson, 2004.

BLACKHUST, J.; CRAIGHEAD, C. W.; ELKINS, D.; HANDFIELD, R. B. “An empirically derived agenda of critical research issues for managing supply chain disruptions”. *International Journal of Production Research*, Vol. 43, No. 19, October, 2005. pp. 4067-4081.

CSCMP. Council of Supply Chain Management Professionals. Disponível em: <<http://cscmp.org/aboutcscmp/definitions/definitions.asp>>. Acesso em 25 de fevereiro de 2008.

CHOPRA, S.; MEINDL, P. *Supply chain management: strategy, planning, and operation*. Pearson Education, 2003.

CHRISTOPHER, M. *Logística e gerenciamento da cadeia de suprimentos*. Ed. Pioneira: São Paulo, 1997.

ELKINS, D.; HANDFIELD, R. B.; BLACKHURST, J.; CRAIGHEAD, C. W. Ways to guard against disruption. *Supply Chain Management Review*, January/February, 2005.

FISHER, M.L. What is the right supply chain for your product?. *Harvard Business Review*, march-april, 1997, p.105-116.

FORRESTER, J. *Industrial Dynamics*. Cambridge: MIT press, 1961.

HAMMOND, T. R.; O'BRIEN, C. M.. An application of the Bayesian approach to stock assessment model uncertainty. – *ICES Journal of Marine Science*, v. 58, p. 648–656, 2001.

HANDFIELD, R.; McCORMACK, K. *Supply Chain Risk Management: Minimizing Disruptions in Global Sourcing*. Taylor & Francis, December 17, 2007.

MARQUES, R.L.; DUTRA, I. Redes Bayesianas: o que são, para que servem, algoritmos e exemplos de aplicações. [Artigo Científico], disponível em <http://www.cos.ufrj.br/~ines/courses/cos740/leila/cos740/Bayesianas.pdf>, acesso em 28/01/08.

MENTZER *et al.* Defining supply chain management. *Journal of Business Logistics*, v. 22 (2), 2001.

PAULRAJ, A.; CHEN, I.J. Environmental Uncertainty and Strategic Supply Management: A Resource Dependence Perspective and Performance Implications. *Journal of Supply Chain Management*, v. 43 (3), 2007.

PECK, H. Reconciling supply chain vulnerability, risk and supply chain management. *International Journal of Logistics: Research and Applications*, v. 9 (2), June 2006, pp.127-142.

PHILIPS, J. D.; DAWSON, L.E.Jr. Bayesian Statistics in Retail Inventory Management. *Journal of Retailing*, v. 44(2), 1968.

RICE, J.; CANIATO, F.. Building a Secure and Resilient Supply Chain. *Supply Chain Management Review*, 2003, 7(5), 22–30.



ZSIDISIN, G.A. Managerial perceptions of supply risk. *Journal of Supply Chain Management*, v.39(1), 2003.

ZSIDISIN, G. A. et al. An analysis of supply risk assessment techniques. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, v. 34(5), 2004.