

Modelagem de Múltiplos Objetivos da Cadeia de Suprimentos da Água Mineral

Autoria: Luciano Madruga Ludwig, Denis Borenstein

Resumo

Os diversos fatores envolvidos no ciclo de performance levam a crer que a realidade da cadeia de suprimentos da água mineral não possa ser abordada por um único objetivo. O presente trabalho apresenta a modelagem de objetivos múltiplos na cadeia de suprimentos da água mineral. Para isso, buscou-se na literatura um modelo que preenchesse esses objetivos para, posteriormente, customizá-lo e validá-lo nesta cadeia de suprimentos. O modelo de múltiplos objetivos é dividido nos submodelos estratégico e operacional. O estratégico provê o desenho da rede de instalações, os custos totais da cadeia de suprimentos e a flexibilidade de volume; o operacional, os níveis de serviço e a flexibilidade de entrega. Esses submodelos são solucionados por meio de programação linear inteira combinada e programação não-linear, respectivamente.

Os resultados da aplicação do modelo confirmaram os aspectos relativos a sua eficiência e eficácia, por meio da construção e análise de cenários. Por fim, foram recomendadas ações de curto e longo-prazos.

Introdução

O cenário agronegocial caracteriza-se pela grande variedade fluxos de bens em cadeias agroalimentares. Na indústria da água mineral, o aumento da competição tem obrigado as organizações e tomadores de decisão a buscarem, continuamente, formas de obter vantagem sobre os concorrentes. As decisões tomadas neste cenário competitivo tornam-se mais complexas devido à riqueza de situações problemáticas que ocorrem desde a zona de produção até a zona de consumo.

Esses fatores competitivos estão obrigando as empresas não só a mudar suas atividades, mas, principalmente, a oferecer aos clientes produtos e serviços com menor preço e melhor qualidade, tendo como objetivo primordial a satisfação total do cliente. Com isso, conclui-se que esta realidade não deva apenas ser abordada por um único objetivo, mas por uma série de objetivos a serem atingidos que possibilitem o diferencial competitivo. Esse nível de complexidade torna-se mais óbvio quando tomadores de decisão passam a olhar a organização sob a ótica sistêmica. Nessa ótica, a organização é parte de um todo, onde ela influencia e é influenciada por outros elementos do sistema (Simon, 1965 apud Flood, 1988; Morin, 1987; Dornier et al., 2000; Vorst et al., 1998).

O presente trabalho apresenta a modelagem de objetivos múltiplos da cadeia de suprimentos da água mineral, onde serão avaliados os custos totais, os níveis de serviços e as flexibilidades de volume e de entrega. Para isso, buscou-se na literatura um modelo que preenchesse essas dimensões para, posteriormente, customizá-lo a uma cadeia de suprimentos de água mineral localizada no Estado do Rio Grande do Sul.

Contexto da Pesquisa

A água mineral é um bem natural caracterizado pela sua demanda crescente, com aumento anual de 15% nos últimos 5 anos (Fonte: DPNM - Departamento Nacional de Produção Mineral). Nessa realidade, o mercado da água começa a ser concorrido não apenas por empresas locais, mas também por organizações maiores que vêem nela mais uma oportunidade de negócios. Dados do DPNM, órgão do Ministério das Minas e Energia responsável pelo setor, revelam que o Brasil possui as maiores reservas de água mineral de todo o Globo Terrestre, e estima que há a crescente tendência de escassez deste recurso natural em outras partes do globo. Isso sinaliza que empresas devem estar preparadas para atenderem aos mercados, atuais e futuro, competitivamente.

Segundo a Abinam (Associação Brasileira de Água Mineral), a indústria da água mineral potável de mesa movimenta cerca de US\$ 600 milhões por ano no País, gerando mais de 300 mil empregos diretos e indiretos. Em 1998, foram envasados mais de 2 bilhões e 437 milhões de litros, de acordo com o DPNM. Por outro lado, o mercado mundial de água mineral é dominado por grandes empresas. A Nestlé, por exemplo, controla 16% do mercado mundial, seguida pela concorrente francesa Danone. A Nestlé pretende se expandir nos países emergentes onde o consumo, hoje, é de nove litros por habitante ao ano e a principal motivação de compra é a segurança sanitária (Fonte: Gazeta Mercantil – 13 e 14 de abril de 2002).

A cadeia de suprimentos de água mineral pesquisada é caracterizada por uma configuração tradicional. Nessas cadeias, o fluxo de bens origina-se nas engarrafadoras, localizadas obrigatoriamente no mesmo local do poço de captação. Os centros de distribuição são posicionados próximos das zonas de consumo (varejo). Os sistemas (modelos) utilizados pelos elementos da cadeia limitam-se ao controle de estoques isoladamente, onde há somente a troca de dados relacionados aos volumes requeridos. Duas experiências em cadeias de suprimentos de água mineral quando desta pesquisa mostraram que a competitividade ocorre, basicamente, pela redução de custos de aquisição, embora aspectos relacionados ao tipo de serviço oferecido, como pontualidade e quantidades corretas, também sejam requeridas. Nesse panorama, constata-se que há a carência de modelos capazes de auxiliarem o processo decisório de gestão e que considerem os fluxos de bens ao longo dos estágios de cadeias de suprimentos de água mineral.

Problemática

A complexidade e magnitude de situações problemáticas manuseadas (equacionadas) pela pesquisa operacional têm aumentado, porém a utilidade de modelos torna-se uma séria questão entre modeladores e usuários. Segundo Landry et al. (1983), a dubiedade conflitante ocorre simultaneamente entre a modelagem ser científica e sua aplicabilidade / validade. Entretanto, a equalização das cadeias de suprimentos ainda é dificultada por decisões isoladas que visam otimizar apenas um ou outro membro separadamente.

A aplicação de tais modelos é problemática em cadeias de suprimentos. De acordo com Dornier et al. (2000), em cada passo do processo logístico da cadeia de suprimentos ocorre o fornecimento de serviço intermediário que contribui, em última instância, para o resultado final. A otimização de todos estes processos tem o objetivo de alcançar a performance desejada por meio da minimização dos custos e do atendimento dos níveis adequados de serviço (Sabri e Beamon, 2000), o que contribui com o aumento da complexidade.

As cadeias de suprimentos deparam-se com uma série de desafios para atingir a performance desejada. O equilíbrio entre os níveis de serviços logísticos e o custo total da cadeia de suprimentos depara-se com a dificuldade de prever alguns fenômenos, os quais referem-se à incerteza das demandas, diária e sazonal, e à incerteza do ciclo de performance (Bowersox e Closs, 1996). A incerteza da demanda diária ocorre periodicamente, devido à sua difícil previsibilidade. Por outro lado, a incerteza da demanda sazonal ocorre nas épocas em que o consumo cresce devido ao aumento da temperatura ambiente nos meses de verão. Isso leva a possíveis investimentos em estoques, recursos de transporte ou em centros de distribuição para disponibilizar produto. A incerteza do ciclo de performance provém das variações que ocorrem entre os tempos de transporte de um a outro membro da cadeia de suprimentos, dos tempos de produção e dos mínimos níveis de serviço requeridos. Essa incerteza leva ao aumento do nível de estoque médio em cada um dos elementos da cadeia e também dos recursos de transporte, repercutindo no aumento dos custos totais.

Essas duas formas de incerteza – a da demanda e do ciclo de performance – fazem com que os elementos da cadeia de suprimentos em questão (engarrafadora, centros de

distribuição, transportadores e varejo) reduzam os custos, individualmente, em razão de desconhecerem os ganhos adquiridos a partir da gestão conjunta da cadeia de suprimentos. Além desse aspecto, a cadeia de suprimentos da água mineral caracteriza-se pelo viés à redução dos custos, sem destaque aos níveis de serviço requeridos. Por isso, durante épocas em que a demanda média aumenta, cresce a incidência de pedidos incompletos, devido à escassez de produtos. Nestes casos há a necessidade de respostas rápidas, a partir da flexibilidade dos recursos de produção e distribuição. Paralelamente a essa abordagem, a cadeia de suprimentos de água mineral depara-se com uma série de restrições de capacidade, referente a aspectos estratégicos e operacionais. Os aspectos estratégicos estão relacionados ao controle de custos totais e ao projeto da rede. Já os aspectos operacionais estão relacionados ao atendimento dos níveis de serviços exigidos, controle de custos em cada um dos estágios, controle de rotas e flexibilidade de entrega.

Tradicionalmente, os modelos de cadeia de suprimentos priorizaram questões estratégicas ou operacionais. Embora, há algum tempo, os modelos de cadeia de suprimentos tenham começado a incorporar a incerteza, grande parte deles centra-se apenas em um estágio, ou seja, no fornecimento, na produção ou na distribuição (Cohen e Lee, 1988). Já os modelos contemporâneos passaram a considerar aspectos estratégicos e operacionais sob incerteza. Os modelos anteriores, determinísticos, não consideravam tais contingências (Cohen e Lee, 1988). O custo total, o nível de serviços e o planejamento de todo o processo logístico ao longo da rede de instalações, por exemplo, exigem um modelo que envolva tanto aspectos estratégicos quanto aspectos operacionais (Sabri e Beamon, 2000).

O desafio abordado nesta pesquisa é referenciado pela modelagem matemática da cadeia de suprimentos de água mineral através do modelo Multiobjetivo e estocástico de Sabri e Beamon (2000). Multibjetivo, por planejar o desenho da rede de instalações e otimizar os custos totais da cadeia de suprimentos atendendo à demanda com flexibilidade de produção e flexibilidade de entrega com os níveis de serviço determinados. Estocástico, por incorporar as incertezas acima citadas.

Objetivos

Realizar a modelagem da cadeia de suprimentos da água mineral, considerando um modelo de múltiplos objetivos que possibilita a avaliação conjunta de variáveis de decisão desta cadeia de suprimentos, através da interação entre os subsistemas estratégico e operacional.

Os objetivos específicos consistem em:

- customizar o modelo apresentado por Sabri & Beamon (2000) utilizando os métodos de controle de estoques adotados na cadeia de suprimentos pesquisada;
- aplicar o modelo customizado à cadeia de suprimentos da água mineral;
- validar o modelo usando os dados fornecidos por uma empresa de água mineral.

Justificativa

O crescente interesse das escolas de negócios e das organizações pela sistêmica, especificamente abordada por meio de estudos desenvolvidos sobre a cadeia de suprimentos, tem apresentado uma série de desafios à implementação de estratégias e controle operacional. Segundo Korpela et al. (2001), é possível ganhar ainda mais vantagem pelo melhoramento da cadeia logística, em vez de melhorar a performance de um ou outro membro da cadeia isoladamente.

A relação existente entre as organizações e elementos da cadeia de suprimentos em questão caracteriza-se pelo fluxo de bens e estoques, sob determinados níveis de serviço. Além disso, os recursos de flexibilidades de volume e entrega presentes no modelo de Sabri e Beamon (2000) apresentam o potencial de respostas frente ao ambiente de incerteza originado pela demanda variável e pela variância do ciclo de performance (Bowersox e Closs, 1996) da cadeia de suprimentos da água mineral. Para Korpela et al. (2001) e Lehmusvaara (1998), o

foco da logística está mudando cada vez mais, em direção ao fornecimento de melhores serviços aos clientes, em lugar de se fixar apenas na minimização dos custos ou na maximização dos lucros do fornecedor.

Há quase duas décadas, Jacoby e Kowalik (1980) já chamavam a atenção para uma grande quantidade de experimentos em modelagem matemática. Ao longo do tempo, esses experimentos têm se intensificado com a adoção e uso de computadores e “softwares”. Segundo Korpela e Lehmusvaara (1999), a pesquisa em logística, desde 1990, tem apresentado muitas publicações de otimização, graças ao poder das ferramentas matemáticas, à maior disponibilidade de recursos da base de dados nas empresas e ao maior interesse dos tomadores de decisão em utilizar os resultados dos modelos matemáticos.

Entretanto, a aplicação de modelos multiobjetivos e estocásticos ainda é escassa em cadeias de suprimentos. Sua utilização pode contribuir com o achado de uma ferramenta eficaz de apoio à tomada de decisão, uma vez que modelos desta categoria proporcionam a análise sistêmica da cadeia de suprimentos sob a importância de diversos objetivos ou dimensões. Além disso, o controle de custos total possibilita a escolha das melhores alternativas de configuração da rede para atender a determinados níveis de serviços.

Método de Pesquisa

O método deste estudo é segmentado em quatro partes. A primeira parte descreve a coleta de informações na cadeia de suprimentos da água mineral. A segunda parte apresenta a customização do modelo de Sabri e Beamon (2000) à cadeia de suprimentos da água mineral. A terceira parte descreverá a aplicação do modelo customizado à realidade da cadeia de suprimentos da água mineral com os dados levantados na coleta de informações. A última parte refere-se à validação do modelo na cadeia da água mineral de uma empresa de Caxias do Sul – RS. A Figura 1 apresenta um esboço do método de pesquisa desenvolvido neste trabalho.

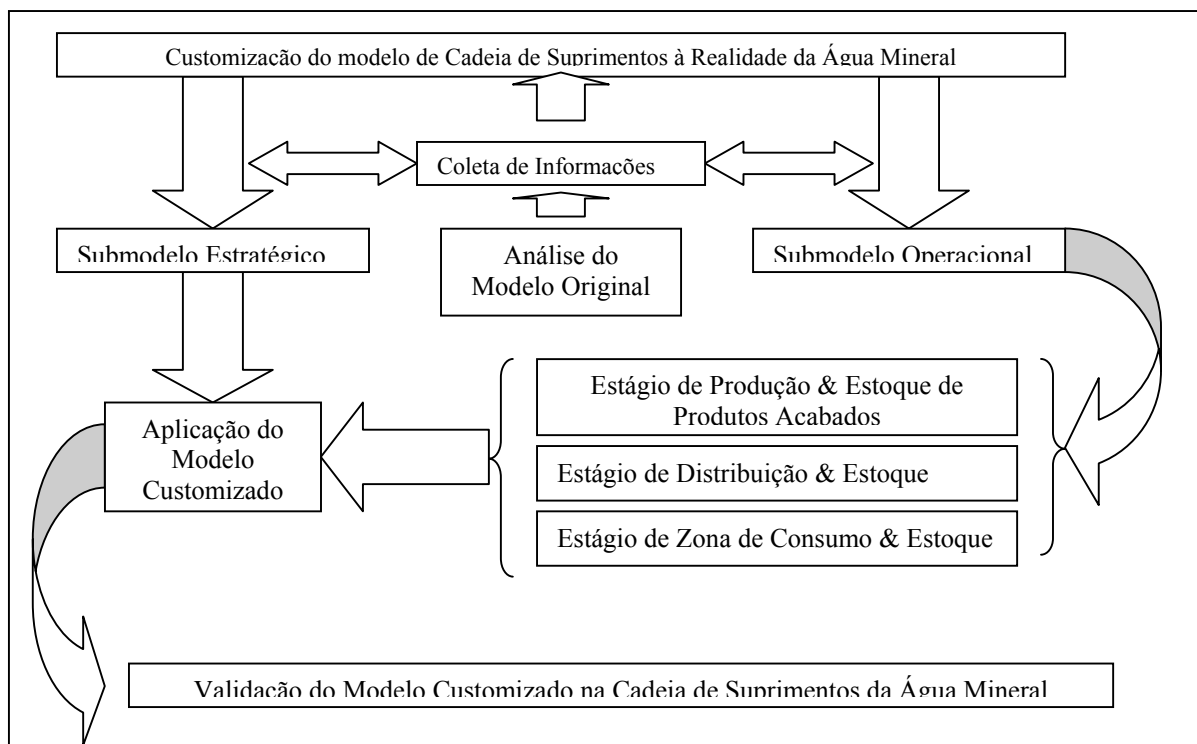


Figura 1 – Método de Pesquisa

Análise do Modelo Original

Esta etapa consistiu no exame detalhado de todos os níveis e subníveis do modelo original de Sabri e Beamon (2000). Posteriormente, foi feita a testagem do modelo original

em Excel (Microsoft) juntamente com o “software” “What’s Best!” (Lindo System Co.) para analisar o comportamento lógico e matemático das ferramentas.

Coleta de Informações

Após a análise do modelo original, foi possível conhecer quais seriam as variáveis de entrada requeridas durante a coleta de informações. Por isso, para a realização dos experimentos propostos necessitou-se que uma série de informações fosse disponibilizada, pois a partir delas foram feitos os equacionamentos necessários a cada um dos estágios da cadeia de suprimentos da água mineral. Algumas destas informações foram disponibilizadas pelos membros-executivos da cadeia de suprimentos a partir dos seus bancos de dados, outras informações, porém, como as variações dos ciclos de tempo (“lead times”), de uma forma geral, foram obtidas através de entrevistas e medições de campo.

Os dados coletados na cadeia de suprimentos foram lançados em uma planilha eletrônica Microsoft Excel para receberem tratamento estatístico e serem verificados. A mesma planilha serviu como banco de dados aos submodelos, com o intuito de facilitar e assegurar a transferência e as alterações de dados para os mesmos.

Customização do Modelo à Cadeia de Suprimentos

Segundo Jacoby Kowalik (1980), antes de começar a desenvolver um modelo, deve-se reconhecer o problema de pesquisa e as necessidades para a sua solução. Como fora citado anteriormente, o modelo foi selecionado, entre muitos outros, por abordar a problemática deste estudo com maior abrangência, proporcionando a integração de todos os elementos que compõem a cadeia de suprimentos.

O modelo original de Sabri e Beamon (2000) foi selecionado por possibilitar o planejamento simultâneo entre os submodelos estratégico e operacional da cadeia de suprimentos. Entretanto, durante o processo de Modelagem Conceitual (Landry et al., 1983) da cadeia de suprimentos da água mineral, foram realizadas algumas modificações que vieram a complementar o modelo original, no que tange à obtenção dos custos unitários de transporte, da estrutura de estágios da cadeia de suprimentos e da alteração nas políticas de estoques adotadas.

Aplicação do Modelo Customizado

Após a coleta de informações, os dados coletados foram lançados no modelo já customizado à cadeia de suprimentos da água mineral. Em geral, todas as informações contidas no banco de dados interligam-se ao modelo customizado.

Solução e Resultados

A solução do modelo foi feita através de procedimentos interativos, nos quais o submodelo estratégico otimizado combina-se ao submodelo operacional para determinar o vetor de performance da cadeia de suprimentos da água mineral. Cada um dos vetores de performance gerados foi tratado como um cenário. Foram gerados tantos cenários quanto necessários para simular diferentes configurações e situações da cadeia de suprimentos. Neste trabalho, cada nível da cadeia foi monitorado através do desempenho e das relações de troca entre os parceiros durante o processo logístico para o atendimento dos resultados finais.

Segundo Jacoby e Kowalik (1980), os principais métodos de solução para o problema de modelagem são: i) convergência para a solução e habilidade para findar o processamento; ii) eficiência computacional; iii) precisão ou, controle de erro. A ótima solução foi obtida pelo algoritmo que encontrará os melhores resultados por meio de interações entre os submodelos estratégico e operacional. O modelo será processado em um microcomputador Pentium III, 550 MHz e 64Mram, utilizando os softwares Microsoft Excel e o “What’s Best!”, da LINDO Systems Corporation.

A verificação do modelo customizado foi feita a partir da comparação dos resultados obtidos nos submodelos estratégico e operacional com resultados empíricos da cadeia de suprimentos pesquisada.

Validação

Para o processo de validação, foi selecionado aquele cenário que contivesse parâmetros estratégicos e operacionais próximos daqueles parâmetros encontrados na cadeia de suprimentos da água mineral. Após a seleção, o cenário foi equiparado com a realidade da cadeia em questão. As variáveis utilizadas nesta equiparação foram obtidas a partir dos resultados dos submodelos estratégico e operacional do cenário selecionado.

Os resultados fornecidos pelo submodelo estratégico são: capacidade de produção e distribuição e a configuração (projeto) da rede de instalações. O submodelo operacional forneceu as variáveis de saída de cada um dos estágios da cadeia de suprimentos, como: os níveis médios de estoque (I_{2ij} , I_{3ik} , I_{4im}), os pontos de pedido (s_{2ij} , s_{3ik}), as quantidades ótimas de pedido (Q_{p2} , Q_{p3} e Q_{4im}) e os custos unitários (U_{2ij} , c_{ijk} , U_{3ik} , c_{ikm} e U_{4im}).

Alterações Feitas no Modelo Original

Durante o processo de customização da cadeia de suprimentos da água mineral, algumas modificações foram necessárias para complementar ou alterar o modelo original tangentes aos aspectos a seguir descritos:

- A estrutura do modelo proposto por Sabri e Beamon (2000) consiste em quatro estágios (fornecedores, fábricas, estoque de produtos acabados e centros de distribuição). Entretanto, a cadeia de suprimentos da água mineral possui a particularidade do estágio de fornecimento–produção encontrar-se no mesmo local, pois a matéria-prima é obtida na própria engarrafadora, o que acarretou mudanças no modelo original de Sabri e Beamon (2000), no que toca à estruturação dos submodelos estratégico e operacional. Conseqüentemente, a modelagem da cadeia da água mineral adota três estágios: produção (engarrafamento)/estoque de produtos acabados, centro de distribuição e zona de consumo.

- A equação de nível de serviço adotada por Sabri e Beamon (2001) está em função dos custos de falta de estoque e dos custos de manutenção. Neste trabalho, foi adotada uma equação que está em função das distribuições da demanda durante o tempo de reabastecimento e das quantidades requeridas.

- Os métodos de controle de estoques adotados no modelo customizado à cadeia de suprimentos da água mineral são diferentes das políticas de estoques adotadas no modelo original de Sabri e Beamon (2000). O modelo original apresenta o método de revisão contínua (s, Q) nos estágios de fornecimento, produção e estoques de produtos acabados, bem como o método min-max (s, S), no estágio de distribuição. O modelo customizado adota os métodos min-max (s, S) nos estágios de produção/estoques de produtos acabados e distribuição; e o método de revisão periódica (q, Q) no estágio da zona de consumo.

Submodelo Estratégico

O submodelo estratégico é composto por duas funções-objetivo: custo total (Z) e flexibilidade de volume (W), ambas adaptadas do modelo original de Sabri e Beamon (2000). O objetivo do submodelo estratégico é determinar o melhor desenho da rede de instalações da cadeia de suprimentos, de forma a atender à demanda com adequados fluxos de produtos a um menor custo total. A flexibilidade de volume tem o objetivo de balizar os “trade offs” entre a utilização de rotas alternativas de transporte e a configuração de uma rede com maior número de instalações, dentro da função que minimiza os custos totais (Z).

Submodelo Operacional

Diversas variáveis operacionais são determinadas pela otimização das variáveis relacionadas aos níveis de estoque, como: tamanho de lotes (Q), pontos de pedido (s) e estoques de segurança. A função multiobjetivo é desenvolvida por incorporar todos “trade offs” entre os custos, níveis de serviço ao cliente (“fill rate”) e a flexibilidade de entrega. A Figura 2, a seguir, apresenta as relações existentes entre os submodelos operacionais da cadeia de suprimentos.

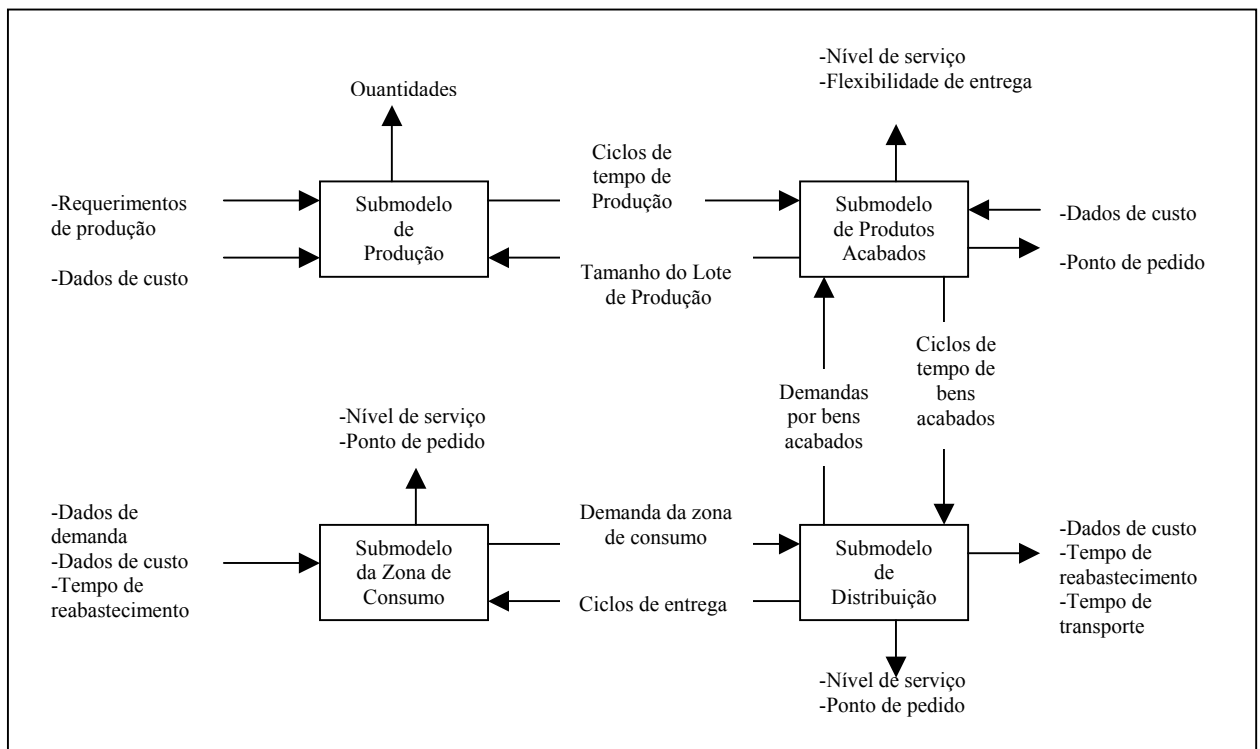


Figura 2 – Relação entre os Submodelos Operacionais

O submodelo operacional incorpora três estágios: (i) produção (engarrafadora e estoque de produtos acabados), (ii) centros de distribuição e (iii) zona de consumo ou varejo. Este trabalho aplica dois diferentes métodos de controle de estoques à cadeia de suprimentos da água mineral, iguais aos métodos utilizados empiricamente.

O submodelo operacional simula a cadeia de suprimentos da água mineral pesquisada por meio de uma política de controle de estoques pelo método min-máx (s, S) nos estágios de produção e distribuição. O método de controle de estoques de revisão periódica (q, Q) é adotado no submodelo da zona de consumo para atender ao método utilizado de revisões pré-programadas.

Implementação Computacional

A implementação computacional é apresentada em duas partes. A primeira parte descreve os recursos computacionais utilizados. Na segunda, são descritos os procedimentos de programação e as planilhas que compõem cada submodelo.

Recursos de Informática Utilizados

O processo de implementação computacional foi feito em planilhas eletrônicas Microsoft Excel conjugadas ao "What's Best!" (versão de demonstração "free") – "software" de programação inteira combinada (MILP) e não linear. Os submodelos, estratégico e operacional, foram programados em arquivos separados, pois a versão de demonstração utilizada nesse trabalho do "What's Best!" não comporta o número de variáveis não-lineares dos submodelos juntos na mesma planilha.

Procedimentos de Programação

A solução do submodelo estratégico foi obtida com programação linear inteira combinada (MILP). Nesse processo, as variáveis binárias [q_{2j} , q_{3k} e y_{km}] são condicionadas a se ajustarem às restrições do submodelo estratégico de forma a minimizar o custo total da cadeia de suprimentos da água mineral. As variações determinadas dos índices de flexibilidade de volume (ϵ) restringem a capacidade de distribuição. Como fora citado antes, se os dois submodelos estivessem interconectados, seria superada a capacidade de equações não-lineares do "What's Best!".

A solução do submodelo operacional foi obtida com programação não-linear no estágio do estoque de produtos acabados. Cada um dos quatro estágios possui uma pasta. Por isso, todas as equações pertencentes a cada estágio constam na mesma pasta. Portanto, o arquivo do submodelo operacional foi dividido em cinco pastas.

Aplicação do Modelo Customizado

A aplicação do modelo de cadeia de suprimentos está organizada em quatro partes. A primeira descreve o problema da cadeia de suprimentos da água mineral. Os resultados do modelo customizado à cadeia de suprimentos de água mineral são apresentados na segunda parte. A terceira parte apresenta a análise de sensibilidade e uma análise global dos resultados obtidos na cadeia de suprimentos pesquisada. Na quarta parte apresenta-se a validação do modelo na cadeia de suprimentos da água mineral.

Descrição do Problema

A cadeia de suprimentos pesquisada possui uma engarrafadora, seis centros de distribuição e dezenas de zonas de consumo. Porém, no presente estudo, a pesquisa da cadeia de suprimentos da água mineral está restrita à produção (j), a três centros de distribuição (k) e oito zonas de consumo (m). O motivo desta escolha foi o fato dos três centros de distribuição (CD) selecionados apresentarem maior proximidade quando comparados aos outros CD, o que proporcionou uma análise mais rica da configuração da rede de instalações. Além disso, estes centros de distribuição são responsáveis por 40% do fluxo total de produtos produzidos.

A engarrafadora (produção) de água mineral produz exclusivamente bombonas de 20 litros. O poço de captação tem uma capacidade de captação de 100.000 litros/dia. A engarrafadora (j) tem capacidade de produzir 1000 bombonas/hora. A rede de instalações que compõe esta cadeia de suprimentos possui centros de distribuição e varejos localizados em diversos municípios do Estado do Rio Grande do Sul. A presente pesquisa, porém, considera apenas três centros de distribuição (CD1, CD2, CD3), localizados na capital do Estado e em outros municípios próximos. Cada um destes centros de distribuição atende às zonas de consumo ZC(1,2,3,4), ZC(5,6) e ZC(7,8), respectivamente. Os centros CD1, CD2 e CD3 possuem, respectivamente, as seguintes capacidades de distribuição: 39.000 unid./mês, 24.000 unid./mês e 16.000 unid./mês. As zonas de consumo foram agregadas e cada uma representa um grande número de pontos de venda atendidos pelos centros de distribuição. Assim, as oito zonas de consumo selecionadas são caracterizadas pela agregação das demandas de zonas de consumo vizinhas. Os tempos de revisão (T^*) foram arbitrados, em cada uma das zonas de consumo, com valores aproximados aos adotados pelos principais pontos de venda.

A cadeia de suprimentos da água mineral pesquisada caracteriza-se pelas oscilações da demanda resultantes da sazonalidade dos consumos de verão e inverno. Os níveis de demanda chegam a crescer 50% durante o verão, o que leva à ocorrência de alterações no preenchimento dos pedidos. Durante cada um destes períodos de consumo, os custos totais também são diferenciados, uma vez que os níveis de estoques reduzem-se com a diminuição da demanda. Além disso, as capacidades de distribuição ficam ociosas durante as épocas de menor demanda média mensal. A demanda selecionada para o presente trabalho é caracterizada pela época de alto consumo, do mês de dezembro. As políticas de controle de estoques adotadas estão presentes no modelo customizado (vide item Alterações Feitas no Modelo Original).

A Figura 3 apresenta a cadeia de suprimentos pesquisada com seus respectivos elementos.

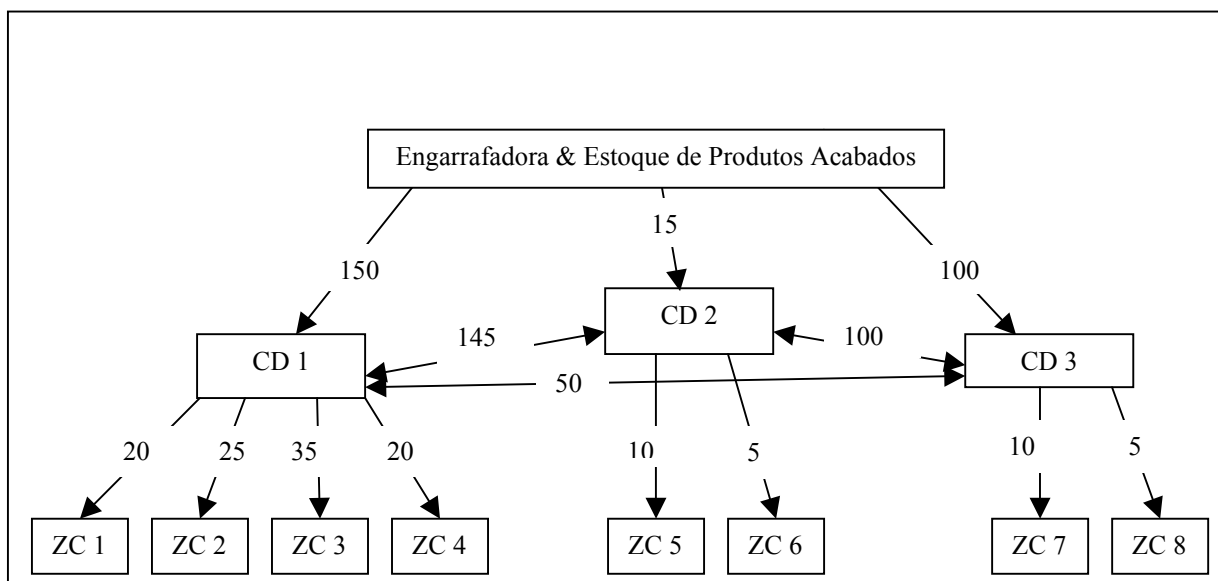


Figura 3 – Distância (km) entre Elementos da Cadeia de Suprimentos da Água Mineral

Resultados

Os resultados do modelo customizado foram obtidos a partir da entrada dos dados coletados na cadeia de suprimentos da água mineral no modelo customizado. Os resultados são apresentados em tabelas e gráficos que apresentam as relações entre variáveis independentes (flexibilidade de volume, serviço ao cliente, flexibilidade de entrega e o fator peso) e variáveis dependentes (custo total), geradas a partir da produção de cenários dos submodelos estratégico e operacional no modelo customizado.

Os cenários foram gerados a partir do acréscimo de valores dos índices das variáveis independentes – flexibilidade de volume (ϵ), nível de serviço (η) e flexibilidade de entrega (γ) na função multiobjetivo. O aumento do índice de flexibilidade de volume (ϵ) restringe as capacidades de produção e distribuição (W). O índice de nível de serviço (η) restringe os mínimos níveis de serviço requeridos pelo tomador de decisão, alterando as quantidades ótimas do pedido conforme a necessidade de preenchimento de pedidos. A flexibilidade de entrega é restringida pelo índice (γ), onde foi assumido que as quantidades requeridas chegam aos clientes por meio de entregas expressas.

A configuração da rede de instalações é representada por variáveis binárias [0,1]. A engarrafadora atende, em todos os casos, aos centros de distribuição ($q_{2j}=1$). Quando os centros de distribuição CD1, CD2 e CD3 estão abertos $q_{3k}=1$, ou quando fechados $q_{3k}=0$. A matrizes (8x3) constantes nas tabelas 1,2,3,4 representam as zonas de consumo ZC[1,2,3,4,5,6,7,8], sendo atendidas pelos centros de distribuição CD[1,2,3]. Se CD atende a ZC, $y_{km}=1$; senão, $y_{km}=0$.

A partir do algoritmo de Sabri e Beamon (2000), foram gerados 36 cenários, apresentados nas Tabelas 1,2,3,4, a seguir. Cada uma destas tabelas foi organizada de forma a apresentarem um formato de configuração de cadeia de suprimentos. A primeira tabela expressa uma configuração de cadeia de suprimentos onde todas as zonas de consumo são atendidas pelo centro de distribuição CD2, expressando, portanto, baixa flexibilidade de volume. A segunda tabela apresenta os centros de distribuição CD1 e CD2 atendendo, respectivamente, às zonas de consumo ZC[1,2,3,4] e ZC[5,6,7,8]. A terceira tabela, similar à segunda, apresenta os centros de distribuição CD1 e CD2 atendendo, respectivamente, às zonas de consumo ZC[1,2,3,4,8] e ZC[5,6,7]. A quarta e última tabela apresenta o nível mais elevado de flexibilidade de volume com os centros de distribuição CD1, CD2 e CD3 atendendo, respectivamente, às zonas de consumo ZC[1,2,3,4], ZC[5,6] e ZC[7,8].

Estes cenários foram gerados a partir da solução conjunta dos submodelos estratégico e operacional. Porém, estes cenários diferem entre si a partir das variáveis de entrada

(“inputs”) e das variáveis de decisão adotadas pelo tomador de decisão. Os cenários [1,2,3,4] acompanhados do termo “artificial” foram gerados a partir de capacidades de distribuição artificiais (80.000 bombonas/mês). Os cenários restantes que estão acompanhados do termo “artificial” representam situações encontradas pelas demandas de inverno, com valores iguais à metade das demandas de verão. Os cenários que não estão acompanhados de nenhum termo representam situações com dados reais de entrada, coletados na cadeia de suprimentos da água mineral.

Tabela 1 – Vetores de Performance e Configuração 1 da Cadeia de Suprimentos

Cenário	ε	w_2	w_3	Z	W	η	γ	q_{2j}	q_{3k}	y_{km}
1artificial	0	0,5	0,5	196.314,95	87518	0,040	0,0000	1	0 1 0	0 1 0 0 1 0 0 1 0 0 1 0 0 1 0 0 1 0 0 1 0 0 1 0

Tabela 2 – Vetores de Performance e Configuração 2 da Cadeia de Suprimentos

Cenário	ε	w_2	w_3	Z	W	η	γ	q_{2j}	q_{3k}	y_{km}
2artificial	120000	0,5	0,5	206.009,86	127518	0,040	0,0000	1	1 1 0	1 0 0
22artificial	0	0,5	0,5	123.629,33	111259	0,000	0,0000			1 0 0
24artificial	0	0,5	0,5	123.687,82	111259	0,030	0,0000			1 0 0
26artificial	0	0,5	0,5	123.915,50	111259	0,060	0,0000			1 0 0
28artificial	0	0,5	0,5	125.745,49	111259	0,090	0,0000			0 1 0
30artificial	0	0,5	0,5	123.645,35	111259	0,000	0,1400			0 1 0
32artificial	0	0,5	0,5	123.778,74	111259	0,000	0,1600			0 1 0
34artificial	0	0,5	0,5	124.430,19	111259	0,000	0,1800			0 1 0
36artificial	0	0,5	0,5	125.609,47	111259	0,000	0,2000			

Tabela 3 – Vetores de Performance e Configuração 3 da Cadeia de Suprimentos

Cenário	ε	w_2	w_3	Z	W	η	γ	q_{2j}	q_{3k}	y_{km}
6	0	0,5	0,5	207.154,78	79018	0,000	0,0000	1	1 1 0	1 0 0
8	0	0,5	0,5	207.211,07	79018	0,030	0,0000			1 0 0
10	0	0,5	0,5	207.463,91	79018	0,060	0,0000			1 0 0
12	0	0,5	0,5	209.369,29	79018	0,090	0,0000			1 0 0
14	0	0,5	0,5	207.208,86	79018	0,000	0,1400			0 1 0
16	0	0,5	0,5	207.449,68	79018	0,000	0,1600			0 1 0
18	0	0,5	0,5	208.548,04	79018	0,000	0,1800			0 1 0
20	0	0,5	0,5	210.467,01	79018	0,000	0,2000			1 0 0

Tabela 4 – Vetores de Performance e Configuração 4 da Cadeia de Suprimentos

<i>Cenário</i>	ε	w_2	w_3	Z	W	η	γ'	q_{2j}				q_{3k}			y_{km}			
3artificial	130000	0,5	0,5	209.466,19	167518	0,040	0,0000		1			1		1		1	0	0
4artificial	130000	0	0,8	209.466,19	139214	0,040	0,0000									1	0	0
5	80000	0,5	0,5	209.376,77	87018	0,000	0,0000									1	0	0
7	80000	0,5	0,5	209.426,56	87018	0,030	0,0000									1	0	0
9	80000	0,5	0,5	209.671,10	87018	0,060	0,0000									0	1	0
11	80000	0,5	0,5	211.562,78	87018	0,090	0,0000									0	1	0
13	80000	0,5	0,5	209.439,76	87018	0,000	0,1400									0	0	1
15	80000	0,5	0,5	209.693,04	87018	0,000	0,1600									0	0	1
17	80000	0,5	0,5	210.824,38	87018	0,000	0,1800											
19	80000	0,5	0,5	212.781,06	87018	0,000	0,2000											
21artificial	112000	0,5	0,5	126.251,18	119259	0,000	0,0000											
23artificial	112000	0,5	0,5	126.307,30	119259	0,030	0,0000											
25artificial	112000	0,5	0,5	126.532,98	119259	0,060	0,0000											
27artificial	112000	0,5	0,5	128.361,37	119259	0,090	0,0000											
29artificial	112000	0,5	0,5	126.271,62	119259	0,000	0,1400											
31artificial	112000	0,5	0,5	126.413,01	119259	0,000	0,1600											
33artificial	112000	0,5	0,5	127.019,51	119259	0,000	0,1800											
35artificial	112000	0,5	0,5	128.312,82	119259	0,000	0,2000											

A relação entre as variáveis independentes e dependentes é expressa, a seguir, na forma de gráficos. Estes gráficos apresentam, respectivamente, a relação entre o índice de flexibilidade de volume e o custo total (Gráfico 1); entre o índice de serviço ao cliente e o custo total (Gráficos 2 e 4); e entre o índice de flexibilidade de entrega e o custo total (Gráficos 3 e 5).

Gráfico 1. Flexibilidade de Volume vs. Custo Total (Capacidade de Distribuição Artificial)

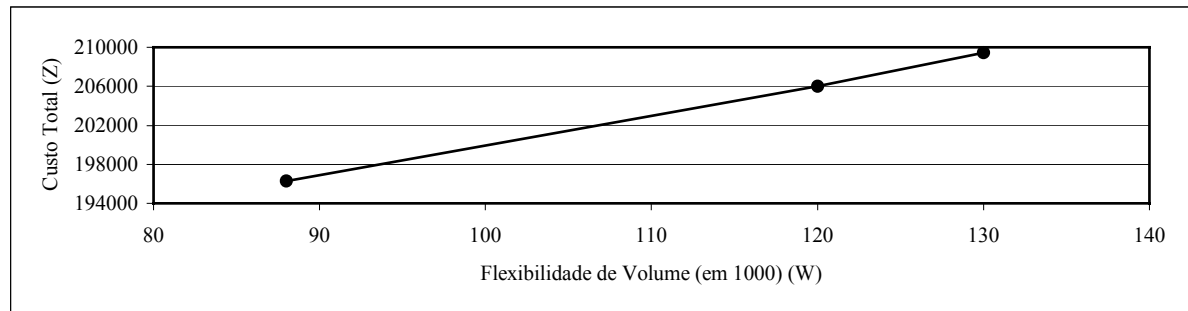


Gráfico 2. Relação entre Nível de Serviço e Custo Total

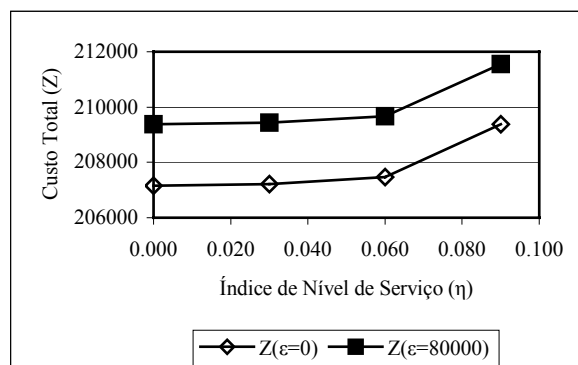


Gráfico 3. Relação entre Flexibilidade de Entrega e Custo Total

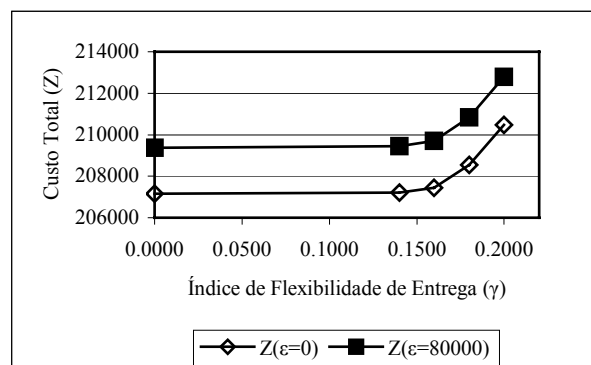


Gráfico 4. Relação entre Nível de Serviço e Custo Total (Demanda Artificial)

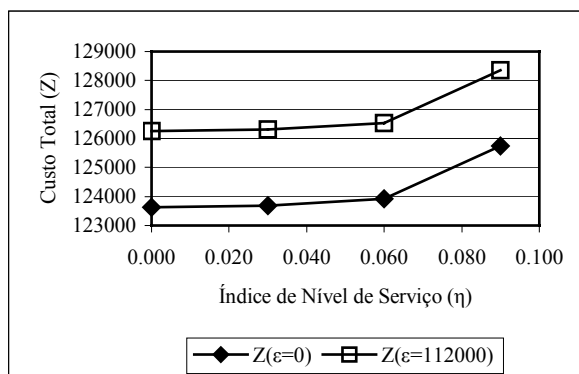
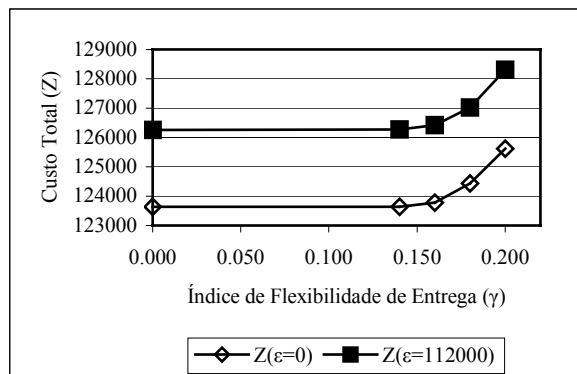


Gráfico 5. Relação entre Flexibilidade de Entrega e Custo Total (Demanda Artificial)



Análise Global dos Cenários

As diferenças dos custos totais (Z) entre os projetos de cadeia de suprimentos com maior e menor flexibilidade de volume (W) são pequenas. Isto pode ser explicado pelos “trade offs” entre os custos operacionais de transporte e os custos operacionais do estágio de produtos estocados nos centros de distribuição. Nesta perspectiva, os custos de transporte dos centros de distribuição à zona de consumo (c_{ikm}) aumentaram sua parcela unitária quando relacionados às configurações com menores capacidades de distribuição. Entretanto, os custos de transporte (c_{ijk}) entre a engarrafadora e os centros de distribuição diminuíram. Nestas configurações, a utilização de rotas alternativas entre os centros de distribuição (CD) e as zonas de consumo (ZC) corroboraram para o aumento dos custos unitários de transporte devido às maiores distâncias entre estes estágios.

Entretanto, os componentes operacionais – custo de manutenção, custos de reabastecimento e custos de falta de estoque do estágio de distribuição (TC_{3ik}) – apresentaram uma pequena redução em configurações de rede de instalações com menor grau de flexibilidade de volume. O fato de terem sido geradas apenas quatro configurações da rede de instalações deve-se à função que minimiza os custos totais Z e está restrita a determinadas capacidades e quantidades. Uma análise dos cenários com demanda e capacidade reais, onde foram testados os níveis de serviço (cenários 5 a 11 e 6 a 12), permite constatar que os custos totais Z foram sempre maiores em configurações de rede de instalações com maiores flexibilidades de volume, mesmo quando os níveis de serviço (P_{2ij}) adotados nessas configurações tenham sido inferiores aos níveis de serviços adotados em configurações com menor flexibilidade de volume (vide Gráficos 2 e 4). Por outro lado, as curvas de custo total relacionadas ao índice de nível de serviço (P_{2ij}) mostram uma pequena elevação dos custos totais quando os níveis de serviço variam entre 0,90 (mínimos níveis requeridos) e 0,96; tanto em configurações com menor ou maior flexibilidade de volume (W). A maior elevação dos custos totais Z ocorreu quando os níveis de serviço (P_{2ij}) atingiram taxas de preenchimento de pedidos de 0,99.

Isso mostra que duas decisões estratégicas podem ser tomadas na cadeia de suprimentos da água mineral. Em primeiro lugar, as configurações de cadeia de suprimentos com menor flexibilidade de volume (capacidade de distribuição) permitem atender à demanda (X_{ij}) com os maiores níveis de serviço (P_{2ij}) e menores custos totais (Z). Em segundo lugar, as configurações de cadeia de suprimentos com menores capacidades de distribuição podem fornecer melhores níveis de serviço às zonas de consumo, pois há uma elevação da disponibilidade de produtos relacionada às maiores quantidades de pedido requeridas.

Os cenários com demandas e capacidades reais, onde foram testados os índices de flexibilidade de entrega (cenários 13 a 19 e 14 a 20), mostraram que, diferentemente da

relação custos totais *versus* níveis de serviço, os custos totais dos cenários com menores flexibilidades de volume nem sempre são inferiores. Os cenários 15 e 20 explicitam esta particularidade. O aumento do custo total se dá porque as quantidades requeridas (Q_{p2}) são induzidas a serem diminuídas por meio da redução dos níveis de serviço (P_{2ij}). A redução dos níveis de serviço ocorre devido aos menores tempos das entregas expressas, equacionadas pelo ciclo de tempo de Bernoulli. Os índices de flexibilidade de entrega restringem os ciclos de tempo (T_{ijk}) a serem inferiores ao ciclo de entrega padrão (T'_{ijk}).

Nessa perspectiva, duas decisões estratégicas podem ser tomadas. Em primeiro lugar, os cenários com menor flexibilidade de volume ($W=79018$) têm custos totais (Z) inferiores aos cenários com maior flexibilidade de volume ($W=111259$) entre os índices de flexibilidade de entrega 0,18 e 0,20 (vide Gráfico 3). Em segundo lugar, para o índice de flexibilidade de entrega máximo adotado ($\gamma=0,20$) nos cenários com menor capacidade de distribuição ($\epsilon=0$; $W=79018$), os custos totais ($Z=210467,01$) são maiores do que os custos totais ($Z=209693,04$) dos cenários com maior capacidade de distribuição ($\epsilon=80000$; $W=87018$) quando os índices de flexibilidade de entrega (γ) são menores ou iguais a 0,16.

Validação Parcial do Modelo Customizado

O processo de validação parcial foi organizado em três partes. Na primeira, consta o motivo da escolha do cenário selecionado para o processo de validação. Na segunda, é feita uma comparação entre o cenário selecionado e a cadeia de suprimentos real, justificando as diferenças encontradas. Na terceira, ocorre uma discussão dos resultados encontrados durante a comparação, abordando aspectos da política de estoques adotada em cada um dos estágios da cadeia de suprimentos.

O que justifica a parcialidade do processo de validação é fato de não ter ocorrido um prolongamento do trabalho e ajuste final das variáveis de saída com os tomadores de decisão da cadeia de suprimentos pesquisada, a partir do modelo customizado. Dessa forma, configura-se um processo de validação parcial enquanto não houver ajustes realizados a partir dos “feed backs” fornecidos pelos membros-tomadores de decisão ante o reconhecimento e análise de todas as variáveis de saída dos submodelos estratégico e operacional.

Escolha do Cenário que Corresponde à Realidade

As informações obtidas durante a coleta de dados permitiram a escolha do cenário 4 (vide Tabela 1) para o processo de validação. As informações que determinaram a seleção do cenário 4 foram os tempos de reabastecimento dos centros de distribuição e a configuração da rede de instalações. Os outros resultados obtidos a partir da modelagem serviram como parâmetros, os quais tiveram as diferenças justificadas.

Os resultados operacionais do cenário 4 aproximam-se dos aspectos operacionais e estratégicos da cadeia de suprimentos da água mineral. Os resultados operacionais a serem comparados entre os estágios da cadeia de suprimentos são os pontos de pedido, as quantidades requeridas, os níveis máximos de estoque e os custos unitários.

Comparação Entre o Cenário Simulado e o Cenário Real

O cenário 4 apresenta uma cadeia de suprimentos configurada com os centros de distribuição CD1, CD2 e CD3 atendendo, respectivamente, às zonas de consumo $ZC[1,2,3,4]$, $ZC[5,6]$ e $ZC[7,8]$. Esta configuração da cadeia de suprimentos corresponde, exatamente, à configuração real da cadeia de suprimentos da água mineral. O sistema de estoque min-max (s,S) adotado no estágio de produção determina que as quantidades requeridas (Q_p) devam ser constantes. Nesta perspectiva, as diferenças entre os resultados modelados e os resultados reais podem ser justificadas por, ao menos, uma das variáveis usadas para determinar essas quantidades. As quantidades requeridas ao estágio de produção ($Q_{p2}=2465,05$ unidades) correspondem às quantidades reais produzidas ($Q_{p\text{real}}=2500$ unidades), diariamente, para atender a demanda dos centros de distribuição $CD[1,2,3]$. Sabendo-se que a quantidade requerida (Q_{p2}) depende das quantidades máximas de estoque (S_{2ij}), dos pontos de pedido

(s_{2ij}) e do déficit de estoque (Ed_j), é apresentada, a seguir, uma análise de cada uma dessas variáveis.

As quantidades máximas de estoque (S_{2ij}) são determinadas pela quantidade ótima de pedido (Q_{2ij}) e pelo ponto de pedido. As quantidades máximas modeladas ($S_{2ij}=2752,27$ unidades) possuem valores próximos dos valores reais ($S_{2ireal}=3000$ unidades). A principal razão dessas disparidades é a diferença entre os pontos de pedido real ($s_{2ireal}=800$ unidades) e modelado ($s_{2ij}=672,83$ unidades). Embora a engarrafadora não adote o método de quantidade ótima de pedido (Q_{2ij}) para determinar o nível máximo (S), as quantidades requeridas ($Q_{preal}=2200$ unidades) são calculadas simplesmente adotando as diferenças existentes entre os níveis máximo ($S_{2ireal}=3000$ unidades) e mínimo ($s_{2ireal}=800$ unidades). Entretanto, a engarrafadora não adota o estoque deficitário (Ed), justificando o aumento das quantidades máximas e mínimas.

Os tempos de reposição em cada um dos centros de distribuição CD1, CD2 e CD3 são, respectivamente, 1; 1,5 e 2 dias. Esses tempos equivalem-se aos resultados encontrados na solução para atender a cada um dos centros de distribuição do cenário 4 ($T^*_1=0,96$ dia; $T^*_2=1,33$ dias e $T^*_3=1,76$ dias). Todavia, o custo unitário do estágio de produção modelado (U_{2ij}) e o custo unitário praticado pela engarrafadora (U_{2ireal}) não apresentaram diferenças representativas. São eles calculados a partir dos custos totais (TC_{2ij}) deste estágio e pela demanda média mensal na engarrafadora (X_{ij}), mantendo portanto, os mesmos valores ($U_{2ij}=U_{2ireal}=0,62$ /unidade). O estágio de distribuição apresentou as mesmas características empíricas do estágio de produção. Entretanto, constam algumas diferenças entre os custos unitários modelados ($U_{3i1}=0,13$; $U_{3i2}=0,14$ e $U_{3i3}=0,14$) e os custos unitários reais ($U_{3i1real}=0,16$; $U_{3i2real}=0,17$ e $U_{3i3real}=0,17$). O motivo de tais alterações está no método de cálculo adotado, onde as maiores quantidades requeridas (Q_p) dissolvem os custos unitários. As quantidades requeridas na modelagem (Q_{p3}) para os centros de distribuição CD1, CD2 e CD3 (2292,75; 997,94 e 949,89) são superiores às quantidades reais requeridas (Q_{preal}) para os mesmos centros de distribuição (1600,00; 850,00 e 800,00).

Comentários

A seguir, constam comentários a respeito do processo de validação parcial do modelo na cadeia de suprimentos da água mineral: i) Embora o cenário 4 tenha sido solucionado com capacidades de distribuição artificiais ($\beta_1=\beta_2=\beta_3=80000$ bombonas/mês), é possível adotar os valores dessas capacidades a partir dos cenários que possuem capacidades reais ($\beta_1=39000$ bombonas/mês, $\beta_2=24000$ bombonas/mês, $\beta_3=16000$ bombonas/mês), de forma que não haja nenhuma diferença nos resultados estratégicos e operacionais, com exceção do valor da flexibilidade de volume (W); ii) As quantidades ótimas de pedido do estágio de produção foram obtidas a partir da minimização dos custos totais (TC_{2ij}) dentro da função múltiplos objetivos. Portanto, não foi adotada a equação tradicional de quantidade ótima de pedido (Q^*), pois as quantidades requeridas foram arbitradas de forma que os custos totais fossem minimizados; iii) As menores quantidades requeridas pelos centros de distribuição (Q_{p3real}) além de aumentarem os custos unitários (U_{3ik}), também diminuíram os níveis de serviço ($P_{3ireal}=0,81$; $P_{3ireal}=0,94$ e $P_{3ireal}=0,93$), quando comparados aos níveis de serviço modelados ($P_{3i1}=0,92$; $P_{3i1}=0,95$ e $P_{3i1}=0,94$). Isso pode representar um aumento de vendas perdidas por falta de estoque; iv) Embora os custos unitários da zona de consumo (U_{4im}) estejam próximos dos valores praticados, não foram tecidas comparações, haja vista que houve uma agregação de demandas (D_{im}) de diversos pontos de venda para chegar-se às oito zonas de consumo modeladas; v) As políticas de estoque adotadas nos estágios de produção (s,S), distribuição (s,S) e zona de consumo (q,Q) do modelo correspondem às práticas adotadas na cadeia de suprimentos da água mineral. Entretanto, as políticas de estoques de revisão contínua (s,Q) se adequariam melhor à cadeia de suprimentos da água mineral. Isso porque as demandas encontradas nesta cadeia de suprimentos são normalmente distribuídas, o que reduziria os

custos; vi) Não foi realizada a validação dos custos totais do submodelo estratégico (Z), devido ao fato destas informações não serem calculadas pela empresa que forneceu os dados para este trabalho; vii) O submodelo estratégico não se mostrou sensível à função de múltiplos objetivos devido às características desta cadeia. Cadeias com outros custos de manutenção e outro formato da rede de instalações poderiam apresentar resultados diferentes. Essas são, em síntese, as apreciações relativas ao processo de validação parcial.

Conclusões

A modelagem da cadeia de suprimentos da água mineral com o modelo de múltiplos objetivos proporcionou uma nova forma de abordar as relações existentes entre os estágios de cadeias de suprimentos. A função de múltiplos objetivos aplicada no estágio de produção/estoque de produtos acabados demonstrou ser uma valiosa ferramenta para análise de cadeia de suprimentos, através da avaliação de diferentes cenários de operação.

Embora os efeitos das variáveis operacionais tenham apresentado resultados limitados na configuração e custeio total do submodelo estratégico, devido ao restrito número de elementos enfocados nesta pesquisa, foi possível constatar a utilidade do modelo customizado como uma ferramenta de auxílio aos tomadores de decisão. Em primeiro lugar, durante a aplicação do modelo customizado, houve a possibilidade de equacionar os efeitos sistêmicos das variáveis operacionais encontradas ao longo da cadeia de suprimentos, onde os menores custos totais (Z) foram obtidos em configurações em que ocorreram os maiores custos de transporte (c_{ijk} e c_{ikm}). Além disso, foi possível verificar a influência dos níveis de serviços oferecidos pela produção aos centros de distribuição (P_{2ij}) frente à incerteza da demanda (σ_{2ij}) e à incerteza do ciclo de performance ($varT_{ijk}$). Em segundo lugar, o modelo customizado possibilitou analisar os “trade offs” entre as variáveis independentes (nível de serviço, flexibilidade de volume e flexibilidade de entrega) e a variável dependente (custo total). Em terceiro lugar, foi possível verificar a importância de incorporar, simultaneamente, aspectos estratégicos e operacionais em um mesmo modelo, uma vez comprovada a influência das saídas (“outputs”) de um submodelo quando inseridas em outro submodelo.

A partir desses resultados, foram feitas duas recomendações de configuração de cadeia de suprimentos. A primeira, a recomendação de curto prazo, baseia-se nas atuais capacidades de produção/distribuição e nas demandas adotadas neste estudo, quando poderiam ser adotadas configurações com maior flexibilidade de volume com três centros de distribuição CD[1,2,3], nos períodos de maior demanda; enquanto nos períodos de menor demanda, adotadas configurações com apenas dois centros de distribuição CD[1,2].

A recomendação de longo prazo surge tendo-se em vista: a) organizar os níveis de estoques entre os diversos estágios da cadeia da água mineral; b) rever as capacidades da rede de instalações. Estas duas possibilidades evitariam, respectivamente, a ocorrência de entregas expressas e as atuais restrições de flexibilidade de volume. Com tal perspectiva, poderia ser adotada uma configuração onde os CD1 e CD2 atendessem às zonas de consumo ZC[1,2,3,4] e ZC[5,6,7,8], respectivamente.

Tanto as recomendações de curto prazo como as de longo prazo estão baseadas nos cenários gerados durante a aplicação do modelo customizado à cadeia da água mineral. Ambas têm como objetivo principal proporcionar um vetor performance eficiente, na determinação dos custos totais; e eficaz, quando do fornecimento dos níveis de serviço requeridos. Assim, a pesquisa desenvolvida na cadeia da água mineral provou que o modelo de múltiplos objetivos é robusto e passível de ser replicado em outras cadeias agroalimentares, haja vista que grande parte dessas mantém relação com a gestão de fluxos.

Limitações e Futuras Pesquisas

As limitações existentes no presente estudo comportam aspectos tecnológicos e de escopo. O principal aspecto tecnológico relaciona-se à capacidade do programa de otimização “*What’s Best!*” 5.0, haja vista que durante a aplicação do modelo à cadeia de suprimentos

utilizou-se uma versão de demonstração, licenciada para uso comercial, em um único computador. Durante a aplicação do modelo, as principais limitações ocorreram com as variáveis não-lineares e as variáveis binárias. Os aspectos de escopo do modelo multiobjetivo estão restritos às flexibilidades de volume e entrega, nível de serviço e custo total. Logicamente estas não são as únicas dimensões possíveis de serem analisadas na performance de cadeias de suprimentos. Além disso, o presente estudo baseou-se em uma cadeia que possui apenas bombonas de 20 litros, o que não deixa de ser uma limitação, pois cadeias de suprimentos com diversos tipos de bens, ou produtos, tendem a ser mais complexas.

Nessa perspectiva, embora os níveis de serviço do modelo customizado sejam considerados em todos os estágios da cadeia de suprimentos, a função de múltiplos objetivos foi testada apenas no estágio de produção e estoque de produtos acabados. A inclusão de funções múltiplos objetivos em outros estágios esteve limitada ao número de equações não-lineares envolvidas na sua solução. Modelos de cadeias de suprimentos solucionados com “softwares” de maior capacidade possibilitariam análises mais complexas.

Considerações relacionando aspectos ambientais à cadeia de suprimentos da água mineral seriam pertinentes, haja vista que a água mineral é um bem finito. A inclusão de um outro submodelo operacional de logística reversa, especificamente no caso das bombonas, também seria útil, uma vez que a cadeia de suprimentos pesquisada comporta o fluxo reverso.

Referências Bibliográficas

- BOWERSOX, Donald J.; CLOSS, David J. *Logistical Management: The Supply Chain Integrated Process*. The Dryden Press, New York, 1996.
- COHEN, Morris A.; LEE, Hau L. Strategic Analysis of Integrated Production-Distribution Systems: Models and Methods. *Operations Research*, 36, n.2, p. 216-228, mar-abr 1988.
- DORNIER, Philippe-Pierre; ERNST, Ricardo; FENDER, Michel; KOUVELIS, Panos. *Logística e Operações Globais: Textos e Casos*. São Paulo: Atlas, 2000.
- FLOOD, R.; CARLSON, E.R. *Dealing with Complexity – An Introduction of Theory and Application of Systems Science*. Plenum Press, New York, 1988.
- JACOBY, S.L.S.; KOWALIK. *Mathematical Modeling with Computers*. Prentice-Hall, Englewoods Cliffs, New Jersey, 1980.
- KORPELA, Jukka; LEHMUSVAARA Antti. A customer oriented approach to warehouse network evaluation and design. *International Journal of Production Economics*, v. 59, p. 135-146, 1999.
- KORPELA, Jukka; LEHMUSVAARA Antti; TUOMINEN, Markku. Customer service based design of the supply chain. *International Journal of Production Economics*, v. 69, p.193-204, 2001.
- LANDRY, Maurice; MALQUIN, Jean-Louis; ORAL, Muhittin. Model Validation in operations research. *European Journal of Operational Research*, v. 14, p. 207-220, 1983.
- LEHMUSVAARA, Antti. Transport Time Policy and Service Level as Components in Logistics Strategy: A Case Study. *International Journal of Production Economics*, v. 56, p. 379-387, 1998.
- MORIN, Edgar. *O Método I: A Natureza da Natureza*. Mira-Sintra – Mem Martins, 1987.
- SABRI, Ehap H.; BEAMON, Benita M. A Multi-objective approach to simultaneous strategic and operational planning in supply chain design. *Omega – The International Journal of Management Science*, v. 28, p. 581-598, 2000.
- VORST, Van der; BEULENS, A.J.M.; BEEK, P. van. Redesigning Food Supply Chains: an Integral Logistical Approach. In: ZIGGERS, G.W.; TRIENEKENS, J.H.; ZUURBIER, P.J.P. (eds). *Proceedings of the Third International Conference on Chain Management in Agribusiness and Food Industry*. Wageningen, The Netherlands: Wageningen Agricultural University – Management Studies Group, v. 28-29, p. 377-390, 2000.