

FELIPE VIZZOTO

O remodelado papel das áreas de compras: o manejo da demanda e a programação matemática como indutores de eficiência na aquisição

São Paulo

2016

FELIPE VIZZOTO

O remodelado papel das áreas de compras: o manejo da demanda e a programação matemática como indutores de eficiência na aquisição

Dissertação apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Ciências

São Paulo
2016

FELIPE VIZZOTO

O remodelado papel das áreas de compras: o manejo da demanda e a programação matemática como indutores de eficiência na aquisição

Dissertação apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Ciências

Área de Concentração:
Engenharia de Sistemas Logísticos

Orientador: Prof. Dr. José Vicente Caixeta Filho

São Paulo

2016

Este exemplar foi revisado e corrigido em relação à versão original, sob responsabilidade única do autor e com a anuência de seu orientador.

São Paulo, 30 de Novembro de 2016

Assinatura do autor:

Felipe Vizzoto

Assinatura do orientador:

Felipe

Catálogo-na-publicação

Vizzoto, Felipe

O remodelado papel das áreas de compras: o manejo da demanda e a programação matemática como indutores de eficiência na aquisição / F. Vizzoto -- versão corr. -- São Paulo, 2016.
107 p.

Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Produção.

1.Programação matemática 2.Cadeia de suprimentos 3.Aquisição de materiais I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Produção II.t.

Dedicatória

À minha família, por compreender a minha ausência.

AGRADECIMENTOS

Uma palavra de agradecimento especial ao Prof. José Vicente Caixeta Filho, pelas oportunidades concedidas, pelo tempo dedicado, pela confiança em mim depositada.

À minha amada companheira Patrícia Alessandra Sanches, minha eterna gratidão pelo apoio afetivo e intelectual.

O meu “Muito Obrigado” à minha família, nas pessoas da Cíntia, Beto, Marília e Vitória Vizzotto. Não seria possível caminhar sem a compreensão e o incentivo de vocês.

À minha “família piracicabana”, nas pessoas da Fátima, Heleno e Diego Sanches, agradeço pelo acolhimento e pela paz espiritual transmitida.

Ao colega Thiago Guilherme Péra agradeço pelo companheirismo nas horas difíceis dessa jornada.

À Raízen Energia S.A, na pessoa do César Augusto Benatto, meu chefe e amigo, por permitir que me dedicasse aos meus estudos.

Aos Professores Daniela Bacchi Bartholomeu e José Eduardo Holler Branco, pelas valiosas correções de rumo em meu trabalho.

À todos os professores do programa de Sistemas Logísticos, pelos ensinamentos transmitidos.

À República Aroeira, pela amizade e pela cerveja sempre gelada.

A imaginação é mais importante que o conhecimento.

Albert Einstein

RESUMO

Um mercado globalizado altamente competitivo e a crescente horizontalização das cadeias de abastecimento realçam a importância da racionalização dos custos e da adequada seleção de fornecedores. Esses mesmos fatores, no entanto, agravam a complexidade envolvida no desempenhar dessas tarefas. A fim de desatar tais nós, o presente trabalho propõe uma abordagem para a seleção de fornecedores que conjuga técnicas de programação matemática que permitam a exploração de economias de escala e escopo a uma metodologia inovadora para construção de cenários de demanda baseada em conceitos modernos de suprimentos. O resultado desta abordagem foi um modelo de programação inteira mista visando a minimização dos custos por desempenho adquirido. Os resultados obtidos na aplicação a um caso hipotético relevam efetividade na redução dos custos, sem prejuízo à qualidade dos materiais adquiridos. O impacto nos custos decorre da reconfiguração da demanda, aumento do poder de barganha interno e externo e aproveitamento de ganhos de escala e escopo.

Palavras-Chave: Compras. Seleção de fornecedores. Programação Matemática.

ABSTRACT

A highly competitive globalized market and a growingly horizontalization through supply chains highlight the importance of properly selecting suppliers and managing costs. These same factors, however, increase the complexity in performing such tasks. In order to solve this plot, it is presented in this work an approach for supplier selection connecting mathematical programming techniques, which allow the use of economies of scope and scale, and an innovative methodology that applies modern concepts of purchasing management for constructing new demand scenarios. From this approach a mixed integer programming model derives, with the goal of minimizing costs per performance acquired. The results of its application in a hypothetical case reveal the effectiveness of the approach in reducing the costs with no significant impact on the acquired performance. This is explained by the reconfiguration of the demand, a shift in the bargaining power within and out of the company and the incorporation of economies of scope and scale.

Keywords: Purchasing. Supplier Selection. Mathematical Programming.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	–	Representação esquemática da 1ª fase da construção dos cenários de demanda.	31
Figura 2	–	Representação esquemática da 2ª fase da construção dos cenários de demanda.	32
Figura 3	–	Representação esquemática da 3ª fase da construção dos cenários de demanda.	33
Figura 4	–	Composição (produtos planejados e não planejados) e quantidade total dos nichos de utilização, em hectares.	44
Figura 5	–	Participação máxima e mínima, em %, dos produtos em seus respectivos nichos.	47
Figura 6	–	Evolução dos custos, em R\$, da concentração do montante contratual dos 5 maiores fornecedores contemplados, em % da compra total, das compras impositivas, em % da compra total, e do desempenho, em % de eficácia média, do pré-modelo para o modelo reduzido.	54
Figura 7	–	Evolução dos custos, em R\$, da concentração do montante contratual dos 5 maiores fornecedores contemplados, em % da compra total, das compras impositivas, em % da compra total, e do desempenho, em % de eficácia média, do modelo reduzido para o modelo pleno.	55
Figura 8	–	Fluxograma esquemático para cálculo do <i>target</i> a ser solicitado para o fornecedor em negociação.	59
Figura 9	–	Evolução dos custos, em R\$, da concentração do montante contratual dos 5 maiores fornecedores contemplados, em % da compra total, das compras impositivas, em % das compra total e do desempenho, em % de eficácia média, do modelo pré-modelo ao modelo pós-barganha. .	61

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	– Características importantes para o sucesso da área de suprimentos moderna.	20
Tabela 2	– Tratativas para incorporação de critérios no modelo de seleção de fornecedores.	23
Tabela 3	– Quantidade, em mil hectares, planejada para os produtos.	43
Tabela 4	– Desempenho dos produtos por fornecedor em % de eficácia sobre seus respectivos alvos.	44
Tabela 5	– Capacidade de fornecimento dos produtos, em mil hectares, por cada fornecedor.	48
Tabela 6	– Quantidade da embalagem, em hectares, de cada produto e cada fornecedor.	49
Tabela 7	– Faturamento mínimo, em mil R\$, exigido para contratação dos fornecedores.	50
Tabela 8	– Quantidades mínimas, em mil hectares, e custos, em R\$/hectare, das propostas comerciais 1, 2 e 3.	51
Tabela 9	– Cenários de flexibilização quanto à aceitação da proposta de fornecimento exclusivo, redução de custo versus o modelo pleno, R\$, magnitude das concessões técnicas para viabilizá-las, em hectares, e concentração do montante contratual dos cinco maiores fornecedores contemplados, em % das compras totais.	57
Tabela 10	– Magnitude das concessões, em hectares, e <i>target</i> na redução de preços, em %, para encaminhamento das propostas portfólio nas mesmas bases comerciais ofertadas pelo fornecedor X na proposta de fornecimento exclusivo.	60

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AHP	<i>Analytical Hierarchy Process</i>
DEA	<i>Data Envelopment Analysis</i>
ERP	<i>Entreprise Resource Planning</i>
GAMS®	<i>General Algebraic Modelling System</i>
MCD	<i>Multi Criteria Decision Analysis</i>
MIP	<i>Mixed Integer Programming</i>
TCO	<i>Total Cost of Ownership</i>

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 REVISÃO DA LITERATURA	17
2.1 O contexto das áreas de suprimentos modernas	17
2.2 A programação matemática no contexto da seleção de fornecedores	20
2.2.1 As tratativas para incorporação de critérios no modelo de decisão	21
2.2.2 As economias de escala e escopo na seleção de fornecedores	24
2.2.3 Considerações finais	27
3 MATERIAL E MÉTODOS	29
3.1 Construção de cenários de demanda	29
3.2 O mercado fornecedor e o modelo	34
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	41
4.1 Contexto: a indústria sucroenergética e os defensivos agrícolas	41
4.2 O modelo hipotético	42
4.3 Desdobramento do modelo e cenários de avaliação	53
5 CONCLUSÕES	63
REFERÊNCIAS	65
APÊNDICE A	70

1 INTRODUÇÃO

A racionalização de custos e a seleção de fornecedores são temas centrais no desempenho de qualquer atividade econômica. O conceito de *core competence* difundido por Hamel e Prahalad (1990) intensificou o processo de horizontalização das companhias, enfatizando a importância de parceiros-chave ao longo da cadeia. Os custos, por sua vez, assumem papel relevante na equação que garante ou extingue o saldo financeiro positivo ao final do exercício, condição *sine qua non* à sustentabilidade financeira de uma corporação. A contratação de fornecedores e a gestão dos custos decorrentes desses acordos são incumbências dos departamentos de compras, também conhecidos por suprimentos. Embora as cifras envolvidas nessas atividades sejam impactantes, cerca de 60% das receitas com vendas segundo Reck e Long (1988), é recente a percepção de que essas áreas são parte estratégica das companhias.

Ammer (1974) notou no início dos anos 70 que a alta direção das empresas enxergava as seções de compras como agentes passivos nos negócios da corporação. Com a evolução das organizações, as áreas de suprimentos cresceram em importância. O pontapé inicial é dado com o trabalho de Porter (1980), que identificou o poder de barganha entre compradores e fornecedores como duas das cinco forças críticas para competitividade da indústria. Desde então, as funções do comprador nas organizações têm se alterado drasticamente, partindo de um simples negociador de preços unitários para um agente atuante na proposição de soluções superiores à companhia.

Tal mudança de perspectiva vem aumentando significativamente a complexidade da função de compras. De Boer et al. (2001) constataram tal quadro e citaram a elevação do rol de opções pela globalização do comércio e pela internet e a multiplicação dos tomadores de decisão pela nova conformação das organizações como fatores intensificadores deste processo. Ainda, Weber e Current (1993) apontaram que a seleção de fornecedores é, na maior parte das vezes, pautada por inúmeros critérios e que frequentemente esses critérios de seleção são conflitantes entre si, dificultando a realização de análises conclusivas. Essas questões, somadas à altíssima velocidade dos ciclos tecnológicos, moldam categorias de compra em que as alternativas de fornecimento, os objetivos e as restrições tornam-se nebulosas.

De encontro a essa problemática apresenta-se a pesquisa operacional. Surgida dos idos da Segunda Grande Guerra, a pesquisa operacional, conforme Hillier e Lieberman (2005), é aplicada aos problemas que envolvem a condução e coordenação das operações em uma organização. Seu método inclui a observação cuidadosa de um problema, com subsequente representação científica (geralmente, matemática) deste por meio de um modelo. Ela emprega técnicas como programação matemática e análises estatísticas para produzir decisões melhores, carregando consigo uma visão ampla dos objetivos da organização e um forte viés para alocação ótima de recursos escassos.

Dados os complexos contornos mais recentemente desenhados na tarefa de reduzir custos e garantir o estabelecimento de parcerias sustentáveis, é de grande relevância a proposição de abordagens que, baseadas nos métodos de pesquisa operacional e na concepção moderna de suprimentos, venham contribuir com a criação de valor pela companhia. Uma mudança na ótica de observação do problema – menos focada na negociação das demandas previamente definidas pela área de negócio e mais preocupada em construir as possibilidades de demanda com essa mesma área – e a concepção de um racional que permita o aproveitamento dos ganhos relativos às economias de escala e escopo, são caminhos que se mostram promissores.

Nesse sentido, o objetivo deste trabalho é propor – por meio da combinação entre técnicas de programação matemática e de conceitos modernos de suprimentos - uma abordagem do problema de seleção de fornecedores capaz de criar e sistematizar um amplo universo de cenários de demanda (em oposição à submissa aceitação das demandas previamente determinadas pelas áreas clientes), articulando-os às oportunidades de economias de escala e escopo. Tal abordagem será posteriormente aplicada a um contexto hipotético da indústria. De forma mais detalhada, envolve:

1. Proposição de método baseado nos conceitos modernos de suprimentos para construir cenários de demanda junto à área usuária e sistematizá-los por meio da programação matemática;
2. Modelagem de mínimo custo por desempenho adquirido que permita avaliar possibilidades relacionadas às economias de escala e escopo junto ao fornecedor;
3. Aplicação do modelo e exploração de suas potencialidades em um caso hipotético da indústria sucroenergética, envolvendo a relação com fornecedores de defensivos agrícolas;

O método citado deverá fornecer as diretrizes para que o profissional de compras seja capaz de racionalizar a geração das demandas por parte das áreas clientes, além de moldar a estrutura matemática inicial do problema. O modelo auxiliará na organização e otimização da problemática, incluindo as restrições técnicas definidas junto à área cliente, de capacidade do lado fornecedor e os ajustes necessários para que os benefícios potenciais das economias de escala e escopo possam ser analisados. A aplicação a uma situação hipotética de aquisição do pacote de defensivos agrícolas por uma indústria sucroenergética será realizada por meio da transcrição à linguagem do software de otimização GAMS®. Serão discutidos cenários que possibilitem avaliar as potencialidades e problemas do modelo.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 O contexto das áreas de suprimentos modernas

Goebel et al. (2003), em seu trabalho sobre a reputação de compras nas companhias, apontaram que essas áreas foram enxergadas ao longo de muitos anos por outros departamentos – em especial o de marketing - como pouco importantes para o sucesso do negócio, muito embora a visão dos próprios compradores fosse de que sua função era estratégica. Também Ansoff (1965) sustentou que a função de compras era considerada apenas administrativa. Visão esta também constatada por Ellram e Carr (1994), que descreveram o trabalho de suprimentos no início dos anos 70 como reativo. Farmer (1981) analisou o desenvolvimento da estratégia de grandes companhias ao longo de dez anos. Este observou que poucas empresas permitiam que as áreas de compras fizessem contribuições significativas para essas estratégias. O principal fator causador desse quadro, advogou, era que os profissionais de compras desempenhavam em boa parte das companhias funções quase “clericais”, não se esforçando para serem integrados ao planejamento estratégico.

Rozemeijer (2008) registrou que, a partir dos anos 80, o crescente reconhecimento de que as organizações não existem em isolamento, conferiu grande conotação estratégica às áreas de suprimentos. Porter (1980) contribuiu de forma determinante para essa mudança de perspectiva, trazendo, em seu consagrado trabalho a respeito da competitividade na indústria, o poder de barganha entre compradores e fornecedores como fatores críticos para o sucesso da estratégia de uma empresa. Na mesma linha, Gadde e Hakansson (1994) perceberam que, com o declínio da verticalização na indústria, as estratégias de compras passaram a ser enxergadas como tópicos relevantes, inclusive para a alta direção das companhias. Fica evidente, portanto, a mudança de percepção das companhias em relação ao papel de suprimentos, migrando de função de suporte administrativo para peça-chave na estratégia. Diante desta nova concepção, emerge um conjunto de características consideradas indispensáveis ao sucesso do também renovado escopo de atuação.

É consenso nos trabalhos analisados que, para contribuir de forma relevante à estratégia competitiva da companhia, suprimentos deve trabalhar em conjunto com outros departamentos. Pearson e Gritzmacher (1990), por exemplo, sustentaram que uma sofisticada área de compras trabalha com outros departamentos para

incrementar a tomada de decisões na empresa. Carter e Narasimhan (1996) enfatizaram que, para uma formulação efetiva da estratégia de suprimentos, é imprescindível que as áreas de compras se associem ativamente a outros departamentos, sob pena de gerar conflitos entre os objetivos da empresa e os perseguidos pelo referido departamento. Essa visão é suportada também por Monczka (1992), que advogou que a compras cabe assumir postura proativa e trabalhar junto a outros departamentos da empresa para construir e implementar uma estratégia competitiva.

Outro ponto de grande importância no que diz respeito ao novo posicionamento de suprimentos na companhia é o seu protagonismo hierárquico, que se traduz em participação ativa nas decisões estratégicas da companhia. Brandmeier e Rupp (2010), em seu trabalho de benchmarking entre áreas de suprimentos, apresentaram o alto posicionamento hierárquico como um dos cinco fatores fortemente relacionados com o sucesso das áreas de *procurement*. Na mesma linha, Pearson e Gritzmacher (1990) defenderam que o sucesso competitivo de uma companhia depende da integração de compras ao processo de tomada de decisões estratégicas. Analogamente, Reck e Long (1988) descreveram o estágio máximo de desenvolvimento das áreas de suprimentos como sendo o “integrado”, aquele no qual o departamento de suprimentos é reconhecido como função estratégica e consegue entender como as suas decisões afetarão o negócio como um todo.

O investimento em pessoas também é apontado na literatura como relevante para a maturidade das áreas de suprimentos. Pearson e Gritzmacher (1990) sugeriram que a função dos altos gestores de suprimentos é monitorar a cadeia de abastecimento enquanto desenvolvem pessoas que se movam de técnicos para estratégicos tomadores de decisão. Brandmeier e Rupp (2010) colocaram o treinamento e desenvolvimento dos funcionários como questão-chave para entrega de resultados consistentes pelas áreas de compras. Van Weele et al. (1998) registraram que a maior parte dos modelos de desenvolvimento das áreas de compras leva em conta, justificadamente, o nível de qualificação e a carga de treinamento do pessoal de suprimentos. Carter e Narasimhan (1996) elencaram como um dos cinco princípios condicionantes do sucesso das áreas de suprimentos o adequado gerenciamento de recursos humanos. Argumentaram, entre outras coisas, que o nível educacional destes colaboradores e a motivação são determinantes nos resultados por eles obtidos.

A capacidade de desenvolver alianças estratégicas com os fornecedores certos também é referida como proeminente fator para o seu êxito. Tão importante quanto delinear uma listagem de ações conjuntas que alinhe as estratégias das companhias, é entender em quais situações elas se converterão em performance superior aos parceiros, evitando o desperdício de tempo e dinheiro. Lambert et al. (1996) salientaram que a parceria não é o melhor caminho para todos os relacionamentos entre companhias, mas que, em certas ocasiões, elas conferem vantagem competitiva aos negócios que as firmas não alcançariam individualmente. Chen et al. (2004) concluíram que a redução da base de fornecimento quando acompanhada de investimentos no relacionamento entre a empresa e esses remanescentes – melhoria na comunicação e troca de conhecimentos, por exemplo - gera vantagem colaborativa aos parceiros, traduzindo-se na outra ponta em melhores resultados financeiros às companhias envolvidas. Na mesma linha, Cousins (1999) considerou que a redução do rol de fornecedores quando aliado a uma visão estratégica, colabora para que a empresa possa fazer uso efetivo de sua base de fornecedores, fortalecendo seus relacionamentos, aumentando a interdependência e abrindo espaço para possíveis trocas de vantagens tecnológicas.

Dada a crescente complexidade nas decisões de compras, já apontada por De Boer et al. (2001), não menos determinante é o conhecimento de ferramentas que permitam a realização de análises que iluminem a confusão gerada pela explosiva quantidade de atributos de decisão. O método de *Total Cost of Ownership* (TCO), por exemplo, segundo Ellram (1995), é uma filosofia de compra que visa entender qual o custo real de comprar um bem ou serviço em particular de um fornecedor específico. Adicionalmente ao preço pago pelo item, no TCO são incluídos elementos como custo de inserção da ordem de compra, transporte, custo de recebimento e inspeção, entre outros. Essa ferramenta permite que características importantes sejam incorporadas na análise da aquisição, contribuindo para uma tomada de decisão mais inteligente e completa a respeito do dispêndio.

Na mesma linha, as técnicas de pesquisa operacional se apresentam como poderosas armas no processo de seleção de fornecedores. Ho et al. (2010), em seu trabalho de revisão da literatura nos modelos de seleção de fornecedores, citam um sem número de técnicas empregadas com sucesso nesta tarefa, como *Analytic Hierarchy Process* (AHP), análise de envoltória de dados (DEA) e, com certo protagonismo, as técnicas derivadas da pesquisa operacional, com ênfase para a programação matemática. Por

meio de modelos mono ou multicritério, lineares ou não lineares, inteiros, simples ou mistos, são fartos os exemplos de aplicação com resultados consistentes existentes na literatura, evidenciando que o conhecimento dessas ferramentas é peça-chave para a performance das modernizadas áreas de suprimentos.

Fica clara, pelas evidências apresentadas, a grande mudança vivida pelos departamentos de suprimentos ao longo das últimas décadas. É oportuno que questões como as apresentadas sejam contempladas na concepção de qualquer abordagem recomendada a compras (Tabela 1).

Tabela 1 - Características importantes para o sucesso da área de suprimentos moderna

Característica	Citação
Integração com outras áreas	Pearson e Gritzmacher (1990); Monczka (1992); Carter e Narasimhan (1996); Reck e Long (1988);
Protagonismo hierárquico	Pearson e Gritzmacher (1990); Brandmeier e Rupp (2010);
Investimento em pessoas	Pearson e Gritzmacher (1990); Carter e Narasimhan (1996); Van Weele et al. (1998); Brandmeier e Rupp (2010);
Desenvolvimento de alianças estratégicas	Lambert et al. (1996); Cousins (1999); Chen et al. (2004);
Ferramentas avançadas de análise	Ellram (1995); Ho et al. (2010);

Fonte: Elaboração do autor

2.2 A programação matemática no contexto da seleção de fornecedores

É assunto vencido nos trabalhos encontrados que a seleção de fornecedores é tarefa de grande relevância em uma empresa. De Boer et al. (2001) citaram que o aumento da dependência das organizações de seus fornecedores tornou as consequências de decisões equivocadas mais severas. Ainda, Xia e Wu (2007) salientaram o impacto da escolha dos parceiros corretos na competitividade de uma indústria. Existem várias fases que compõem o processo de seleção. Sonmez (2006) considera cinco fases: a identificação da necessidade de novos fornecedores, escolha dos atributos de

decisão, pré-qualificação dos fornecedores, seleção propriamente dita e a contínua avaliação do desempenho dos mesmos. Este trabalho terá seu enfoque voltado à seleção propriamente dita, com ênfase nas formas de incorporação dos atributos de decisão ao modelo e ao aproveitamento de economias de escala e escopo junto ao fornecedor.

Os trabalhos de Ho et al. (2010), Sonmez (2006), Weber et al. (1991) enumeram uma série de métodos utilizados na seleção de fornecedores. Programação matemática, inteligência artificial e análise de envoltória de dados (DEA) são geralmente associadas a outras abordagens como *Multi Criteria Decision Analysis* (MCDA) ou *Total Cost of Ownership* (TCO) com o intuito de sistematizar o processo de seleção de acordo com critérios pré-definidos, aumentando a visibilidade sobre as opções e possibilitando melhores decisões. Os autores buscam apontar as vantagens e desvantagens atreladas a cada um desses métodos. Fica claro pela análise dessas revisões que inexistem método ou abordagem mais correta, sendo cada um deles mais adequado dependendo dos objetivos que se pretende alcançar e da maturidade da área de suprimentos em que se aplicarão. A programação matemática, por ser objeto deste estudo, terá o enfoque desta revisão. Em um primeiro momento, explorar-se-á as tratativas dadas para incorporar os critérios de decisão no modelo. A posteriori, tratar-se-á dos métodos utilizados para análise dos benefícios relacionados à escala e escopo junto ao fornecedor.

2.2.1 As tratativas para incorporação de critérios no modelo de decisão

A definição dos critérios a serem considerados na seleção de fornecedores é variável conforme a ocasião. Cada empresa será capaz de elencar objetivamente os fatores de relevância para a escolha de um ou mais fornecedores. As formas de incorporar tais critérios ao modelo, ou seja, de avaliar o nível de criticidade dos mesmos para a decisão, são também diversas.

O trabalho de Pan (1989) foi um dos pioneiros na aplicação da programação matemática à seleção de fornecedores. Preocupado com a necessidade de se aplicar com maior racionalidade o conceito de fornecimento múltiplo, um modelo de programação linear foi proposto não só para determinar quais fornecedores seriam utilizados, mas também qual o tamanho da ordem de compra que seria designada a cada um deles. A função objetivo representa o mínimo custo na aquisição global,

enquanto as restrições estabelecem requisitos mínimos de qualidade, tempo de entrega e nível de serviço. Este trabalho trouxe consigo alguns importantes aprendizados sobre a programação linear na seleção de fornecedores. O estabelecimento de um único objetivo simplifica a abordagem, tornando o modelo bastante prático. Por outro lado, impõe aos interessados a necessidade de adquirir certa clareza quanto aos níveis adequados dos demais critérios tornados restrições, visto que estes atuarão de modo a eliminar ou habilitar fornecedores no processo.

Ghodsypour e O'Brien (1998) propuseram uma aplicação de programação linear integrada ao método AHP. O método AHP provê uma metodologia para definição dos critérios de seleção, seus respectivos pesos e, ao final, oferece um sistema de pontuação para cada um dos fornecedores envolvidos. Por meio de técnicas de modelagem, obtém-se um modelo de programação linear de estrutura matemática bastante simples, em que o "valor" total da compra deve ser maximizado considerando uma multiplicação entre a pontuação do fornecedor e o tamanho da ordem de compra, sujeito às restrições de demanda, qualidade e capacidade de fornecimento. Um modelo hipotético é criado para sua aplicação, evidenciando as potencialidades da metodologia proposta, com destaque para a possibilidade de incorporação de múltiplas características na função objetivo, mas mantendo a configuração de variável de decisão única. Por outro lado, mesmo reconhecendo as virtudes do AHP, segue imperativa a necessidade de profundo conhecimento da importância de cada atributo aos tomadores de decisão, visto que um sistema de pesos mal calibrado pode levar a escolhas inferiores.

Weber e Current (1993) e Degraeve e Roodhooft (1999) propuseram dois modelos de programação inteira mista (MIP) associados a métodos diferentes de contabilização dos critérios de decisão. O primeiro, baseado em seleção multicritério, foi aplicado à realidade de uma grande empresa norte-americana e possibilitou ao tomador de decisão estabelecer os objetivos prioritários – neste caso, o custo total, o número de atrasos nas entregas e o número de itens rejeitados por questões de qualidade - na escolha da melhor compra, bem como elencar as principais restrições que as circunstâncias impunham. Modelos com múltiplos objetivos dificilmente fornecerão resposta ótima para todos os objetivos ao mesmo tempo. Por outro lado, o modelo gera soluções não dominadas e permite a visualização dos resultados para cada um dos critérios, arma importante na avaliação objetiva dos *trade-offs* inerentes a cada um dos resultados.

Já Degraeve e Roodhooft (1999) conjugaram o MIP a uma abordagem de TCO visando minimizar os custos na utilização de eletrodos em um multinacional belga. O modelo seleciona os fornecedores e determina o tamanho das ordens de compra a serem solicitadas ao longo de um horizonte de tempo. A integração com o TCO permite não só que custos como os salários e benefícios dos profissionais de compras envolvidos no processo, custo de inserção das ordens de compra, custos de estoque, custo de recepção dos lotes, entre outros, sejam envolvidos na análise, mas também que parâmetros qualitativos (quantificáveis) como probabilidade de defeito e eficiência relativa de um item sejam incorporados. Embora ainda ineficiente em captar questões subjetivas, esta linha de trabalho permitiu a referida companhia reduzir seus custos totais em 8%, provando a efetividade de tal método. Um problema a ele associado é a dificuldade de obtenção do conjunto de dados necessários para sua aplicação. Diversos custos da cadeia são de difícil rastreabilidade e a confiabilidade dos dados é essencial para gerar resultados fiéis à realidade (Tabela 2).

Tabela 2 - Tratativas para incorporação de critérios no modelo de seleção de fornecedores

Método	Característica	Citação
Programação Linear Monocritério	Demais critérios tornados restrições	Pan (1989)
<i>Analytical Hierarchy Process</i>	Índice que pondera todos os critérios de decisão	Ghodsypour e O'Brien (1998)
<i>Total Cost of Ownership</i>	Cálculo do custo total, incorporando custos indiretos de qualidade e outros critérios.	Degraeve e Roodhooft (1999)
<i>Multi Criteria Decision Analysis</i>	Função objetivo com múltiplos critérios	Weber e Current (1993)

Fonte: Elaboração do autor

À luz de todo o exposto anteriormente, verifica-se a pluralidade das associações entre a programação matemática e métodos para incorporação de critérios na análise de decisão de fornecimento. Cada qual com suas vantagens e limitações, a escolha depende essencialmente do nível de criticidade dos atributos adicionais (exceto o custo), da variabilidade encontrada no mercado fornecedor quanto a eles, da qualidade dos dados de que dispõe a empresa e do nível de clareza dos tomadores de decisão quanto à priorização de cada um desses fatores. Uma observação importante é que por mais diversas que as abordagens sejam, todas se preocupam

em incorporar no modelo de decisão atributos de caráter subjetivo. Para este caso, propor-se-á uma tratativa específica neste trabalho, a ser discutida com mais detalhes na seção de material e método.

2.2.2 As economias de escala e escopo na seleção de fornecedores

As economias de escala e escopo desempenham papel determinante nas mais diversas esferas da economia global. Elas habilitam, pelo mecanismo da diluição de custos fixos, a redução dos custos unitários decorrentes da produção de bens. A escala está ligada à elevação do volume de um determinado produto e o escopo ligado à diversificação da produção em mais de um produto. No contexto da seleção de fornecedores, elas são abordadas de diferentes maneiras. As economias de escala são habitualmente relacionadas a descontos em função da magnitude do faturamento junto ao fornecedor ou a desconto em preços atrelados à elevação da quantidade adquirida, apontaram Benton e Park (1996). Caplice e Sheffi (2003) registraram que as economias de escopo existem quando o custo de um produto ou serviço é dependente não só do volume deste, mas também da inclusão no pacote de outros produtos ou serviços, tornando a aquisição do portfólio mais vantajosa que a aquisição em separado. Os leilões combinatórios são a ferramenta mais comumente aplicada na captação de economias de escopo – embora, vale ressaltar, não se limitem a elas, pois as economias de escala geralmente também estão contempladas nessa modalidade - no âmbito dos processos de compra.

Benton e Park (1996) dividiram os mecanismos de desconto em preço em função da quantidade (*quantity discounts environment*) de acordo com dois atributos: a característica da demanda e a forma de ofertar os descontos. No caso de demanda, subdividem-se em contínua e demanda faseada (por horizonte de tempo finito). Os descontos são classificados em todas as unidades (*all-unit discounts*), em que são definidos preços por faixas de volume adquiridos e incrementais (incremental), situação esta em que os descontos aplicam-se apenas aos volumes excedentes às faixas definidas, gerando múltiplos custos para o mesmo produto. Em seu trabalho, apresentam diversas aplicações de ambos os métodos existentes na literatura. Especificamente, os casos incrementais geram duas dificuldades relevantes: (1) do ponto de vista de governança corporativa, visto que os múltiplos preços para um mesmo produto podem gerar desentendimentos quanto aos valores praticados; (2) do

ponto de vista operacional, haja vista que haveria necessidade de se reajustar os preços inúmeras vezes para que refletissem a realidade negociada.

Kokangul e Susuz (2009) integraram AHP a um modelo de programação não linear multicritério que explora ganhos de escala por desconto em preço na modalidade de *all-unit discounts*. O modelo é aplicado a uma grande montadora de veículos e seus efeitos são produzidos sob diferentes cenários de função objetivo (maximização do valor da compra, minimização dos custos e ambos simultaneamente) e de relaxamento de restrições. Vê-se que a utilização de faixas de preço produziu efeitos positivos no resultado final, visto que o modelo acaba alocando lotes de quantidade maior quando o objetivo é a minimização dos custos. Por outro lado, abordam os ganhos de escala em produtos de forma separada, ignorando eventuais ganhos relativos ao escopo.

Xia e Wu (2007) propuseram um modelo de programação inteira mista com descontos em função do volume de negócios (independentemente de envolver um ou múltiplos produtos) e múltiplos critérios de decisão. O método AHP foi aprimorado pela teoria dos conjuntos aproximativos (*Rough Sets Theory*) para determinar a relevância dos critérios na geração da solução. Dois exemplos numéricos são apresentados para exemplificar a aplicação do modelo. Conclui-se que a utilização de descontos em função do volume de negócios é mais conveniente para o comprador que os mecanismos de desconto em preço em função da quantidade, visto que conferem a ele a possibilidade de escolha de quais produtos serão envolvidos no negócio. Essa abordagem, no entanto, é menos comumente aceita pelos fornecedores, visto que esses dispõem de margens de lucro diferentes em seus produtos.

Nos leilões combinatórios os participantes podem propor lances por combinações de itens. Caracterizam-se pela vantagem associada à compra em pacote, ou seja, o valor da aquisição dos produtos em separado é maior que o valor da aquisição dos produtos no portfólio ofertado, registrou Avenali (2009). Esse fator configura um quadro em que a decisão de compra não é mais balizada por um único item, que pode ser adquirido de um ou mais fornecedores, mas em um conjunto de materiais que pode ser comprado de um único fornecedor, notou Dahel (2003).

Hohner et al. (2003), preocupados em criar um ambiente para compras cujo design suportasse a estratégia da multinacional Mars, desenvolveram um modelo de programação inteira mista combinando descontos em preço por quantidade e leilões combinatórios. Este modelo foi incorporado à interface de um website para a

realização de leilões entre profissionais de compras da Mars e seus fornecedores. A companhia reportou economias consistentes aplicando tal abordagem, concentrou suas compras em um número reduzido de fornecedores – fator que elevou o nível de integração na cadeia - e o *pay-back* do investimento deu-se em menos de um ano, o que atesta o sucesso da iniciativa inovadora.

Giacon (2012) associou o leilão combinatório à MCDA em um modelo de programação inteira aplicado ao abastecimento de uma indústria brasileira de cosméticos. No trabalho, o problema é resolvido diversas vezes utilizando associações entre os métodos propostos. A inclusão do leilão combinatório gera um resultado superior em 5% na ponderação dos atributos quando comparado ao obtido pela seleção multicritério sem a adoção desta ferramenta. Fica clara a virtude desta abordagem, visto que estabelece uma relação de ganho mútuo, traduzida em resultados superiores tanto ao fornecedor quanto ao comprador.

Catalán et al. (2009) formularam um modelo de programação linear inteira em um leilão combinatório para auxiliar o governo chileno na tomada de decisão quanto ao fornecimento de merenda escolar. O modelo explorou a possibilidade de empresas privadas fazerem ofertas integradas para abastecimento de diferentes regiões do país. O modelo proposto simplificou a análise computacional e, por extensão, o tempo de processamento dos resultados, antes principal barreira para sua implementação. O governo chileno reportou redução de custo da ordem de 20% com tal abordagem, provando seu extraordinário valor e eficácia.

Explorar as oportunidades oferecidas pelas economias de escala e escopo pode ser capital para a competitividade de uma empresa. A literatura evidencia que a inclusão de tais atributos no modelo de seleção de fornecedores geralmente implica resultados superiores para ambos os lados. O leilão combinatório se mostra como uma abordagem mais completa não só por captar ambas as frentes de redução de custos, mas também por ser vantajosa tanto do ponto de vista do comprador quanto do fornecedor. Além disso, incentiva a concentração de pacotes em um número reduzido de fornecedores, facilitando a gestão e avaliação contínua destes e pavimentando uma via para eventuais estreitamentos de relacionamento.

2.2.3 Considerações finais

Esta seção registra as completas e variadas formas encontradas na literatura para se conduzir o processo de seleção de fornecedores, destacando as maneiras de inclusão dos critérios de seleção no modelo e as formas de aproveitamento de ganhos de escala e escopo. Embora muito eficientes e instrutivas, todas elas pressupõem uma demanda por materiais fatalmente determinada pelas áreas usuárias, sem possibilidade de discussão acerca de sua configuração. Este ponto é de substancial importância, pois inibe a abertura de caminhos promissores para a redução de custo e/ou incremento de desempenho dentro das companhias. Seu endereçamento em qualquer abordagem de seleção de fornecedores se mostra, portanto, oportuno. Na próxima seção, apresentar-se-á os métodos propostos por este trabalho para escolha dos fornecedores, visando a redução dos custos por desempenho obtido.

3 MATERIAL E MÉTODOS

A abordagem proposta ao problema de seleção de fornecedores é recomendada para compra em pacotes de materiais, preferencialmente em contratos de longo prazo. Esta se subdivide basicamente em duas etapas metodológicas. Primeiramente, um conjunto articulado de fases - pautadas por conceitos modernos de suprimentos aliados à programação matemática - será enunciado com o intuito de guiar o comprador na tarefa de construir um leque de possibilidades de demanda, em oposição ao tradicional processo de concorrência estabelecido com base nos volumes de aquisição pretendidos informados pela área usuária. A este método se dá o nome de “construção de cenários de demanda”. Ao final deste processo, ter-se-á um modelo de programação linear simples em que as restrições serão todas de caráter técnico interno. A segunda etapa cuidará não só de incorporar ao modelo as típicas restrições provenientes do mercado fornecedor (capacidade, tamanho de lote etc.), mas também o ajustará para ensejar o aproveitamento de propostas que explorem as economias de escala e escopo (adaptação do leilão combinatório). Em última instância, o problema estará racionalmente sistematizado em um modelo de programação linear inteira mista de minimização de custo por desempenho.

3.1 Construção de cenários de demanda

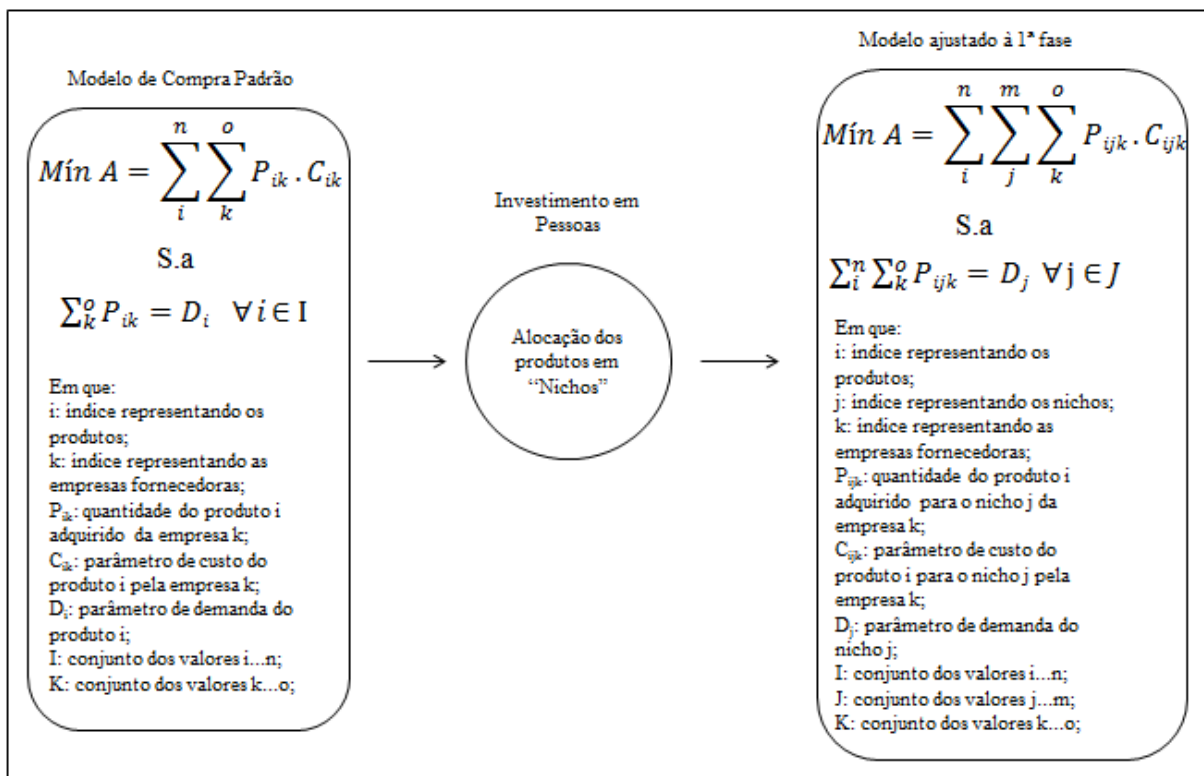
A compra de um item pressupõe a anterior constatação de sua necessidade para concretização de um processo interno da organização. A chamada “área usuária”, departamento ao qual se destina o material a ser adquirido, é quem toma ciência dessa demanda e requisita a compra de um determinado volume deste item ao departamento de suprimentos, geralmente via transações de softwares ERP. Suprimentos, então, abre cotação junto aos fornecedores homologados. Depois de realizadas as negociações acerca das condições comerciais e de fornecimento, é tomada a decisão pelo vencedor da concorrência. Este modelo de operação – enraizado nas anacronizadas áreas de suprimentos - induz o comprador a aceitar passivamente a demanda transmitida pela área usuária, ignorando oportunidades relevantes de redução de custo no processo de construção da demanda.

Para inibir esses desperdícios, propõe-se uma metodologia baseada em programação matemática e em conceitos modernos de suprimentos. Composta de três fases, essa

ferramenta – que será tratada genericamente por “construção de cenários de demanda” - tem o intuito de auxiliar os profissionais de compras a construir diferentes cenários de compra de materiais, aumentando o universo de possibilidades a ser explorado no processo concorrencial junto ao mercado.

Pearson e Gritzmacher (1990), Van Weele et al. (1998) e Brandmeier e Rupp (2010) apontaram a importância da capacitação e treinamento contínuo dos profissionais para o sucesso das áreas de compras. A primeira fase do processo acaba nesta mesma direção. Para ser capaz de questionar a demanda transmitida pela área usuária, é necessário que o profissional tenha suficiente autoridade técnica para respaldá-lo. Requer, preferencialmente, que tenha formação na área ou que ao menos sejam a ele ofertados cursos, simpósios, assinaturas especializadas, entre outras ferramentas relacionadas ao seu escopo de compra na companhia. Nesta fase, os materiais com compra requisitada deverão ser segmentados de acordo com seu nicho de utilização. Como exemplo didático, toma-se a compra de material escolar. Canetas e lápis, embora cada qual com características peculiares, servem ao mesmo fim – escrever – e, portanto, comporiam o mesmo nicho, bem como fichários e cadernos. Cria-se, então, um quadro de demanda agregada do nicho, que deve ser atendida pelas opções nele contidas. A Figura 1 traduz este racional em um modelo de programação linear.

Figura 1 - Representação esquemática da 1ª fase da construção dos cenários de demanda

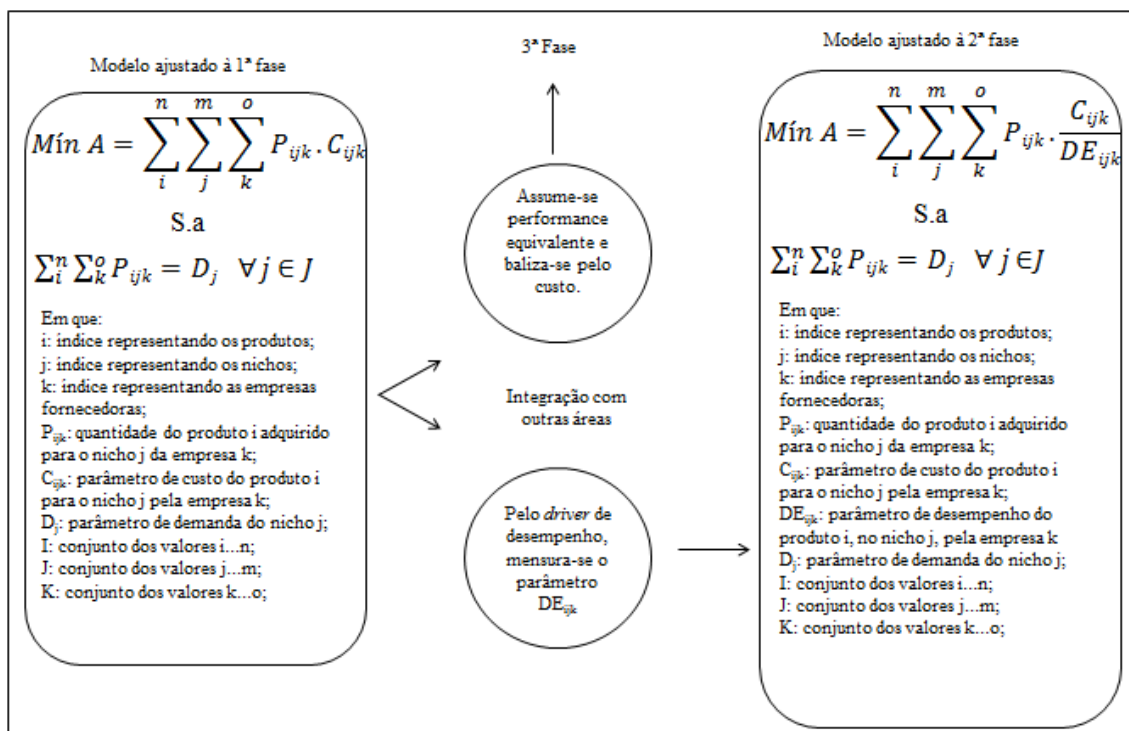


Fonte: Elaboração do autor

Dos compradores contemporâneos, segundo Pearson e Gritzmacher (1990) e Moczka (1992), espera-se uma ativa capacidade de interlocução junto aos seus clientes internos, o trabalho conjunto em projetos visando o maior interesse da organização. Na condução dessa segunda fase essa postura é indispensável. Caberá ao profissional de suprimentos integrar-se junto aos usuários dos produtos para incorporar ao modelo o desempenho de cada item em seu respectivo nicho. Como mostram os trabalhos de Ghodsypour e O'Brien (1998), Weber e Current (1993) e Degraeve e Roodhooft (1999), a análise solitária dos custos unitários pode gerar uma ilusória impressão de economia, sendo necessário absorver aspectos quantitativos relativos à performance. Inspirado nos referidos trabalhos, propõe-se dois caminhos para concepção de um índice que relacione custos e benefícios. O primeiro é escolher um driver de interesse para cada nicho e, de posse dos custos, calcular o índice referido. Importante salientar que, neste caso, o driver deve necessariamente ser quantificável. O segundo caminho é reduzir o comparativo apenas àqueles materiais cujo desempenho é avaliado como idêntico em seus nichos, ficando a análise reduzida ao custo total da utilização dos materiais. Este se mostra interessante também nos

casos em que os dados a respeito do desempenho dos materiais são pouco confiáveis ou indisponíveis. Retomando a ilustração da compra de materiais de escritório, seria razoável definir como driver de desempenho a área de papel disponível para uso no nicho dos cadernos e fichários e a durabilidade de canetas e lápis. A Figura 2 traz um esquema desta etapa.

Figura 2 - Representação esquemática da 2ª fase da construção dos cenários de demanda

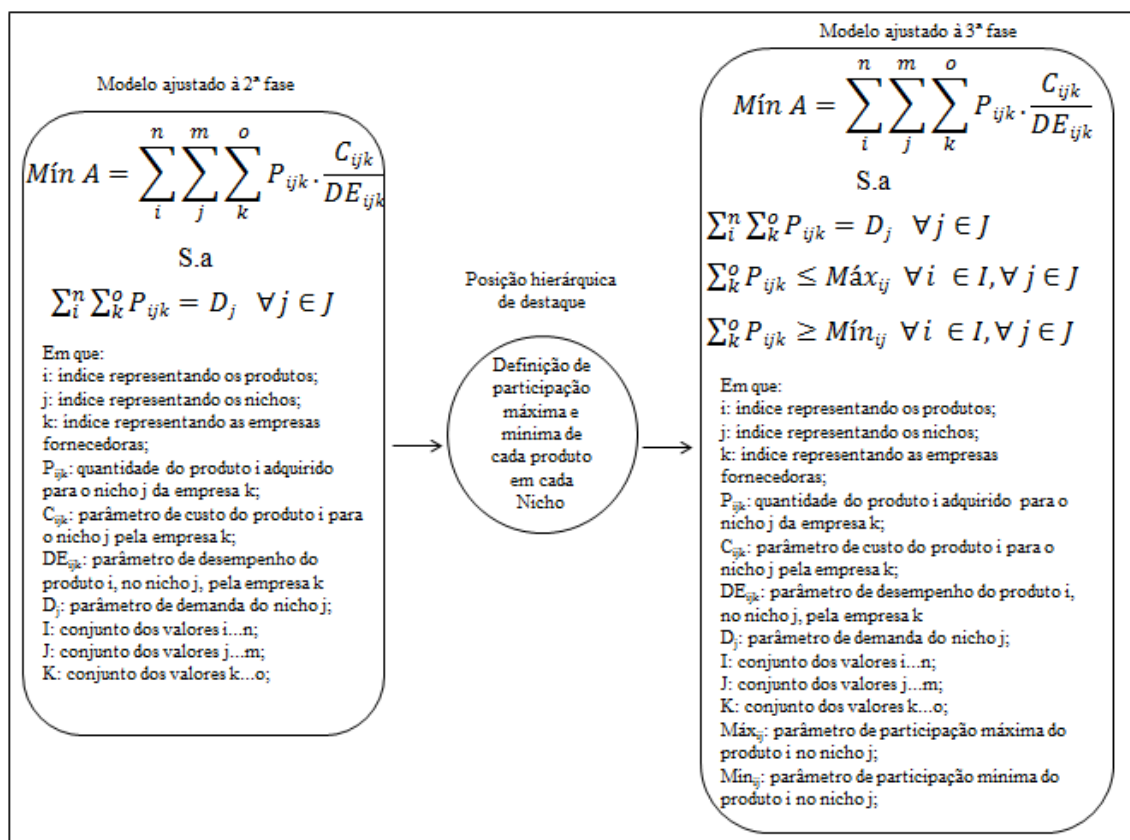


Fonte: Elaboração do autor

O alto posicionamento hierárquico, apontado como essencial para suprimentos por Reck e Long (1988), Pearson e Gritzmacher (1990) e Brandmeier e Rupp (2010), pressupõe ciência e influência na estratégia global da organização. Na terceira e última etapa da construção dos cenários de demanda, suprimentos deverá fazer uso dessa condição. Definidos os nichos e alocados os materiais a cada um deles, mensurados os custos e parâmetros quantitativos de desempenho, se faz oportuna a definição – com base em características qualitativas dos produtos – da participação mínima e máxima desses dentro do contexto em que estão inseridos, ou seja, os nichos de utilização. Importante observar que tal procedimento faz parte da incorporação de características subjetivas ou de difícil mensuração ao modelo de decisão. Todos os caracteres qualitativos relevantes não captados pelo driver de

desempenho devem constar no modelo por meio dessas restrições. A suprimimentos, nesta etapa, caberá exercer sua influência e aparar excessos das áreas usuárias. Trabalhar no sentido de conferir aos produtos de alto desempenho e baixo custo a maior participação possível na cesta de compras é questão-chave para a observação de bons resultados. A Figura 3 ilustra a derradeira etapa da construção de cenários de demanda.

Figura 3 - Representação esquemática da 3ª fase da construção dos cenários de demanda



Fonte: Elaboração do autor

Algumas vantagens podem ser elencadas quanto à utilização do método de construção de cenários de demanda. Além de oferecer ao comprador autonomia para manipular os volumes a serem negociados de cada produto, abre espaço para discussões de mérito junto à área usuária, possibilitando aquisições mais inteligentes e menos focadas em percepções subjetivas. É importante, porém, salientar que o modelo até aqui construído não é suficientemente completo para refletir a realidade encontrada no mercado. Na próxima seção serão introduzidas não só as restrições que garantem a viabilidade do atendimento por parte dos fornecedores, mas também

as modificações necessárias para que as economias de escala e escopo sejam usufruídas pelo comprador.

3.2 O mercado fornecedor e o modelo

O modelo gerado pela construção de cenários de demanda na seção anterior confere flexibilidade ao comprador no momento da negociação de volumes de compra junto aos fornecedores. Entretanto, mantido como está, é incapaz de incorporar as restrições inerentes à realidade dos fornecedores, como volume de embalagem, capacidade de fornecimento, entre outras. Além disso, ignora eventuais oportunidades relacionadas às economias de escala e escopo e perante o fornecedor. Todos esses fatores serão tratados nesta seção.

Antes de entrar na modelagem específica das restrições, cabe justificar o caminho tomado na concepção do modelo. Conforme evidenciado pela seção anterior, optou-se por trabalhar com um índice que relaciona custo e desempenho na função objetivo por entender que a abordagem monocritério para custo pode culminar na eliminação imediata de opções interessantes de aquisição, uma vez que seria necessário limitar os parâmetros mínimos de desempenho por meio das restrições. As restrições técnicas apresentadas deverão apenas calibrar as demandas de acordo com características de difícil mensuração. Além disso, a escassez de dados de alta confiabilidade e o baixo nível de clareza sobre a criticidade de cada um dos fatores envolvidos na decisão pesou na escolha de um caminho menos específico.

A primeira restrição proveniente do mercado fornecedor é a capacidade de fornecimento. Pelo caráter finito dos recursos e a capacidade produtiva limitada dos entes economicamente ativos, é razoável supor que haverá por parte dos fornecedores uma demarcação do volume máximo a ser entregue de cada um dos produtos. Para transmitir essa condição ao modelo, adiciona-se um parâmetro CF_{ik} , que estipula a capacidade máxima de fornecimento de produto i pelo fornecedor k . A equação 1 representa restrições de tal natureza.

$$\sum_j^m P_{ijk} \leq CF_{ik} \quad \forall i \in I, \quad \forall k \in K \quad (1)$$

Até o momento, o modelo trabalhado apresenta características de uma programação linear simples. Entretanto, outra restrição comumente atuante na realidade das aquisições requer que tal quadro se altere. À exceção dos produtos comercializados a granel, praticamente todos os outros materiais ou têm um volume de embalagem fixo ou não podem ser vendidos em frações. Ambos os casos requerem que o modelo considere pelo menos parte de suas variáveis assumam valores inteiros, transformando-se em um modelo de programação linear inteira mista (MIP). Nas equações 2 e 3 estão apresentadas as restrições que garantem que tais condições sejam efetivadas. Um novo parâmetro e uma nova variável se fazem necessários para tal, sendo E_{ik} , - que estipula o volume da embalagem do produto i ofertada pelo fornecedor k – e VE_{ik} a variável inteira que garante o volume do produto i oferecido pela empresa k seja um múltiplo inteiro da embalagem previamente definida.

$$\frac{\sum_j^m P_{ijk}}{E_{ik}} = VE_{ik} \quad \forall i \in I, \quad \forall k \in K \quad (2)$$

$$VE_{ik} \geq 0, \text{ inteiro} \quad (3)$$

Completando as restrições relativas à capacidade de fornecimento, é comum que fornecedores restrinjam suas vendas a um volume mínimo de faturamento. Tal situação geralmente se configura para que a venda possa ao menos cobrir os custos de transação e logística com o lucro esperado. O parâmetro $Fmín_k$ representa o faturamento mínimo junto à empresa k e a variável binária do tipo 0-1, BP_k , indica a compra ou não de produtos da empresa k . As equações 4, 5 e 6 garantem que, se produtos da empresa k forem adquiridos, o faturamento deverá igualar ou exceder a exigência mínima.

$$\sum_i^n \sum_j^m P_{ijk} \cdot C_{ijk} \geq Fmín_k \cdot BP_k \quad \forall k \in K \quad (4)$$

$$\sum_j^m P_{ijk} \leq BP_{ik} \cdot CF_{ik} \quad \forall i \in I, \quad \forall k \in K \quad (5)$$

$$BP_k = \{0, 1\} \quad (6)$$

As restrições até aqui apresentadas (capacidade, embalagem, faturamento) são inerentes à interface entre mercado fornecedor e cliente. Deste ponto em diante, serão

modeladas as eventuais oportunidades comerciais relativas às economias de escala e escopo (leilões combinatórios).

Conforme já apresentado nos trabalhos de Hohner et al. (2003), Catalán et al. (2009) e Giacon (2012), os leilões combinatórios trazem resultados superiores tanto para o lado fornecedor quanto para o comprador. Nesse caso, o fornecedor oferta um pacote de produtos ao invés de itens em separado. Por ser esta uma abordagem holística, ensejando a ganhos com economias de escopo e escala, decidiu-se por empregá-la nesse modelo.

A modelagem deste problema permitirá aos fornecedores ofertar aos clientes três diferentes propostas: (1) compra avulsa; (2) compra em pacotes com volumes previamente definidos, explorando de forma moderada as economias de escala e escopo; (3) compra em pacotes que englobem a total capacidade de fornecimento do fornecedor, intensificando os ganhos de escala e escopo e pavimentando caminho para desenvolvimento de alianças estratégicas entre cliente-fornecedor. Esta última modalidade de proposta será neste trabalho referida como “proposta de fornecimento exclusivo” e a anterior como “proposta portfólio”. Diante do quadro descrito, a modelagem das diferentes propostas ofertadas pelos fornecedores passa pela criação de um novo índice, um novo parâmetro e formulação das restrições que garantam que no máximo uma proposta por fornecedor seja selecionada. É adicionado um quarto índice, o l , que faz referência à proposta oferecida pelo fornecedor. O parâmetro PP_{ik} é introduzido para estabelecer o volume mínimo a ser adquirido do produto i do fornecedor k para que a proposta de compra em pacote ($l=2$) seja viabilizada. A equação 7 exige que, em caso de aceitação da proposta $l=3$, o fornecedor k abasteça no limite de sua capacidade de fornecimento os produtos demandados pelo comprador e por ele ofertados. As equações 8 e 9 garantem que, caso a proposta $l=2$ seja a escolhida, pelo menos os volumes mínimos de todos os produtos inclusos no pacote de fornecimento sejam englobados na compra. As equações 10, 11 e 12 asseguram que no máximo uma entre as três propostas seja selecionada.

$$\sum_j^m P_{ijkl} = CF_{ik} \cdot BP_{kl} \quad \forall i \in I, \forall k \in K, l = 3 \quad (7)$$

$$\sum_j^m P_{ijkl} \leq CF_{ik} \cdot BP_{kl} \quad \forall i \in I, \forall k \in K, l = 2 \quad (8)$$

$$\sum_j^m P_{ijkl} \geq PP_{ik} \cdot BP_{kl} \quad \forall i \in I, \forall k \in K, l = 2 \quad (9)$$

$$\sum_j^m P_{ijkl} \leq CF_{ik} \cdot BP_{kl} \quad \forall i \in I, \forall k \in K, l = 1 \quad (10)$$

$$\sum_l^p BP_{kl} \leq 1 \quad \forall k \in K \quad (11)$$

$$BP_{kl} = \{0, 1\} \quad (12)$$

A modelagem do problema foi apresentada de forma evolutiva, como um passo-a-passo, abordando e explanando a respeito de cada uma das restrições e seus componentes. Por essa razão, alguns reajustes retroativos se fazem necessários. O modelo completo será, portanto, reescrito na sequência, eliminando as restrições redundantes e fazendo as adições e subtrações necessárias para que este tenha integral sentido matemático.

O modelo é escrito nos termos das notações subsequentes:

Índices

- $I = i, \dots, n$ índice que representa os produtos.
 $J = j, \dots, m$ índice que representa os nichos de finalidade.
 $K = k, \dots, o$ índice que representa os fornecedores.
 $L = l, \dots, p$ índice que representa as modalidades de proposta.

Parâmetros

C_{ijkl} parâmetro que representa o custo, em R\$/hectare, do produto i , no nicho j , ofertado pelo fornecedor k , na proposta de modalidade l .

DE_{ijk} parâmetro que representa o desempenho, em % de eficácia, do produto i , no nicho j , pelo fornecedor k .

D_j parâmetro de demanda, em hectares, do nicho j .

$Máx_{ij}$ parâmetro de participação máxima, em hectares, do produto i , no nicho j .

$Mín_{ij}$ parâmetro de participação mínima, em hectares, do produto i , no nicho j .

CF_{ik} parâmetro de capacidade máxima de fornecimento, em hectares, do produto i , pelo fornecedor k .

E_{ik} parâmetro de volume da embalagem, em hectares, do produto i , pelo fornecedor k .

PP_{ik} parâmetro de volume mínimo, em hectares, do produto i , pelo fornecedor k , a ser adquirido na proposta portfólio.

$Fmín_k$ parâmetro de faturamento mínimo, em R\$, imposto pela empresa k .

Variáveis

P_{ijkl} variável que representa a quantidade alocada, em hectares, do produto i , no nicho j , ofertado pelo fornecedor k , na proposta de modalidade l .

BP_{kl} 1 se fornecedor k tem a proposta l aceita, 0 caso contrário.

VE_{ik} variável inteira que representa o número de embalagens adquiridas do produto i , fornecedor k .

Nas equações de 13 a 27 encontra-se a representação do modelo completo ajustado:

$$Mín A = \sum_i^n \sum_j^m \sum_k^o \sum_l^p P_{ijkl} \cdot \frac{C_{ijkl}}{DE_{ijk}} \quad (13)$$

Sujeito a

$$\sum_i^n \sum_k^o \sum_l^p P_{ijkl} = D_j \quad \forall j \in J \quad (14)$$

$$\sum_k^o \sum_l^p P_{ijkl} \leq Máx_{ij} \quad \forall i \in I, \forall j \in J \quad (15)$$

$$\sum_k^o \sum_l^p P_{ijkl} \geq Mín_{ij} \quad \forall i \in I, \forall j \in J \quad (16)$$

$$\sum_j^m \sum_l^p P_{ijkl} \leq CF_{ik} \quad \forall i \in I, \forall k \in K \quad (17)$$

$$\frac{\sum_j^m \sum_l^p P_{ijkl}}{E_{ik}} = VE_{ik} \quad \forall i \in I, \forall k \in K \quad (18)$$

$$\sum_i^n \sum_j^m \sum_l^p P_{ijkl} \cdot C_{ijkl} \geq Fmín_k \cdot \sum_l^p BP_{kl} \quad \forall k \in K \quad (19)$$

$$\sum_j^m P_{ijkl} = CF_{ik} \cdot BP_{kl} \quad \forall i \in I, \forall k \in K, l = 3 \quad (20)$$

$$\sum_j^m P_{ijkl} \leq CF_{ik} \cdot BP_{kl} \quad \forall i \in I, \forall k \in K, l = 2 \quad (21)$$

$$\sum_j^m P_{ijkl} \geq PP_{ik} \cdot BP_{kl} \quad \forall i \in I, \forall k \in K, l = 2 \quad (22)$$

$$\sum_j^m P_{ijkl} \leq CF_{ik} \cdot BP_{kl} \quad \forall i \in I, \forall k \in K, l = 1 \quad (23)$$

$$\sum_l^p BP_{kl} \leq 1 \quad \forall k \in K \quad (24)$$

$$BP_{kl} = \{0, 1\} \quad (25)$$

$$VE_{ik} \geq 0, \text{inteiro} \quad (26)$$

$$P_{ijkl} \geq 0 \quad (27)$$

Este modelo, de elaboração própria, possibilita ao comprador explorar diferentes cenários de demanda e de preços. Impõe à empresa a necessidade de interlocução entre área usuária e suprimentos, gerando discussões fecundas para melhores tomadas de decisão. Além disso – pela opção de contratos de exclusividade - habilita suprimentos a avaliar os custos ou ganhos inerentes em se celebrar alianças mais robustas junto a certos fornecedores, que podem originar outros ganhos intangíveis, como desenvolvimento de projetos conjuntos e melhoria no relacionamento. Na próxima seção, tratar-se-á da aplicação na indústria. O contexto da aquisição de defensivos agrícolas em um grupo sucroenergético brasileiro será apresentado.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo, as características de um problema hipotético da seleção de fornecedores de agroquímicos para uma indústria sucroenergética serão pormenorizadas para que o modelo matemático seja a ele aplicado. Essa escolha se deu pelo entendimento de que tal interação reúne as características ideais para exploração do modelo. Tal caso será apresentado na forma de um enredo, com contornos bastante típicos de uma grande organização. Faz-se oportuno, portanto, previamente ao enunciado do modelo hipotético, introduzir brevemente o contexto de ambas as indústrias no país e as questões que tornam a interação das mesmas no âmbito de suprimentos tão aderentes ao modelo previamente enunciado.

4.1 Contexto: a indústria sucroenergética e os defensivos agrícolas

A agroindústria canavieira tem papel relevante no agronegócio brasileiro. No ano de 2014, seu Produto Interno Bruto (PIB) representou algo em torno de 6% do agronegócio nacional, atingindo R\$ 65,4 bilhões, segundo números do Barros (2015). Conforme a Unica (2015), o processamento de mais de 570 milhões de toneladas de cana-de-açúcar abastece o mercado doméstico de etanol, alimenta a rede de distribuição de energia elétrica e coloca o país na primeira posição mundial na produção e exportação de açúcar.

Mais do que outras cadeias produtivas, o setor sucroenergético brasileiro carrega forte imperativo para o aumento da eficiência pelas vias da racionalização de custos. Dois de seus principais produtos – etanol e energia elétrica – têm seus preços direta ou indiretamente administrados pelo governo. Já o açúcar, embora não exposto a manipulações estatais, é uma *commodity* internacional negociada em bolsas de valores. Esses fatores tornam difícil a diferenciação desses produtos, impossibilitando a determinação arbitrária por parte do ofertante dos seus preços de venda. Dessa forma, a garantia da rentabilidade se dará menos pelas políticas de precificação ao mercado e mais pelo controle dos custos incorridos na operação.

Os defensivos agrícolas – também denominados agroquímicos ou agrotóxicos – representam parcela considerável dos custos de produção da cana-de-açúcar. Dos insumos adquiridos para cultivo desta cultura, os defensivos agrícolas geralmente figuram como a terceira maior conta, atrás de diesel e fertilizantes. A aplicação destes

produtos visa garantir a sanidade do canavial e inibir a competição das plantas daninhas com a cana-de-açúcar, buscando em última instância alta produtividade e qualidade da matéria-prima. Essenciais na obtenção de bons resultados na agricultura empresarial de larga escala, os defensivos agrícolas integram um mercado bastante peculiar e de difícil equacionamento de custos.

O mercado dos agroquímicos é marcado pela estrutura oligopolizada em que cinco *players* globais detêm cerca de 70% das vendas totais, conforme apontado por Matsushita et al. (2010). Tal estrutura se explica em grande parte pela existência de relevantes barreiras de entrada a novos competidores. Por se tratarem de produtos provenientes da química fina e de alto risco à saúde humana e ao meio ambiente, são necessários elevados investimentos em pesquisa e desenvolvimento e longa jornada de discussões regulatórias e registros. Ainda, por ser um setor altamente dependente da inovação, há grande presença de produtos patenteados, que por sua vez conferem força descomunal ao seu ofertante no processo de negociação.

O quadro descrito – importância estratégica dos custos no setor sucroenergético, relevância da conta de defensivos agrícolas no mesmo, alta concentração do mercado de agroquímicos e ampla participação de produtos patenteados – justifica a concepção de estratégia mais sofisticada que a simples exploração concorrencial de preços unitários junto aos fornecedores. O modelo descrito na seção anterior, portanto, vai de encontro a essa necessidade.

4.2 O modelo hipotético

O *status-quo* no processo de fechamento de contratos anuais para fornecimento de defensivos agrícolas em uma hipotética empresa sucroenergética segue itinerário tradicional já descrito no início da seção 3.1. Isto é, a área técnica define, com base na área planejada para o ano de cada um dos produtos desejados, a quantidade de cada produto (Tabela 3) e a Suprimentos cabe negociar dentre as marcas existentes o melhor preço unitário de cada um deles, considerando parâmetros de qualidade previamente definidos pela área técnica. Rompendo com tal lógica, a abordagem apresentada neste estudo será aplicada a um caso construído com números e enredo que, embora hipotéticos, apresentam contornos factíveis, visando avaliar suas potencialidades dentro de um contexto simulado.

Tabela 3 - Quantidade, em mil hectares, planejada para os produtos

Produto	Quantidade
1	125
2	192
3	20
4	60
5	30
6	45
7	50
8	5
9	35
10	150
11	100
12	50
13	45
14	25
15	45
16	40
17	40
18	63
20	40
22	5
24	105
25	5
26	80
27	110
28	125
33	70
35	20
37	20
38	5

Fonte: Elaboração do autor

Em um primeiro momento, se fez necessário entender em quantos nichos de utilização se subdividiam os 29 produtos planejados. A posteriori, e não menos importante, verificar se, para os nichos delimitados, apenas esses 29 produtos se encaixavam. Por meio de estudos técnicos e deliberações de uma equipe interdepartamental, constatou-se que existiam 18 nichos de utilização na companhia (Figura 4). Por sua vez, os produtos elegíveis para uso nesses nichos saltaram de 29 para 38 – ainda que muitos tenham sido descartados da análise ou por ausência de resultados conclusivos sobre suas performances ou por desempenho comprovadamente insatisfatório.

(Conclusão)

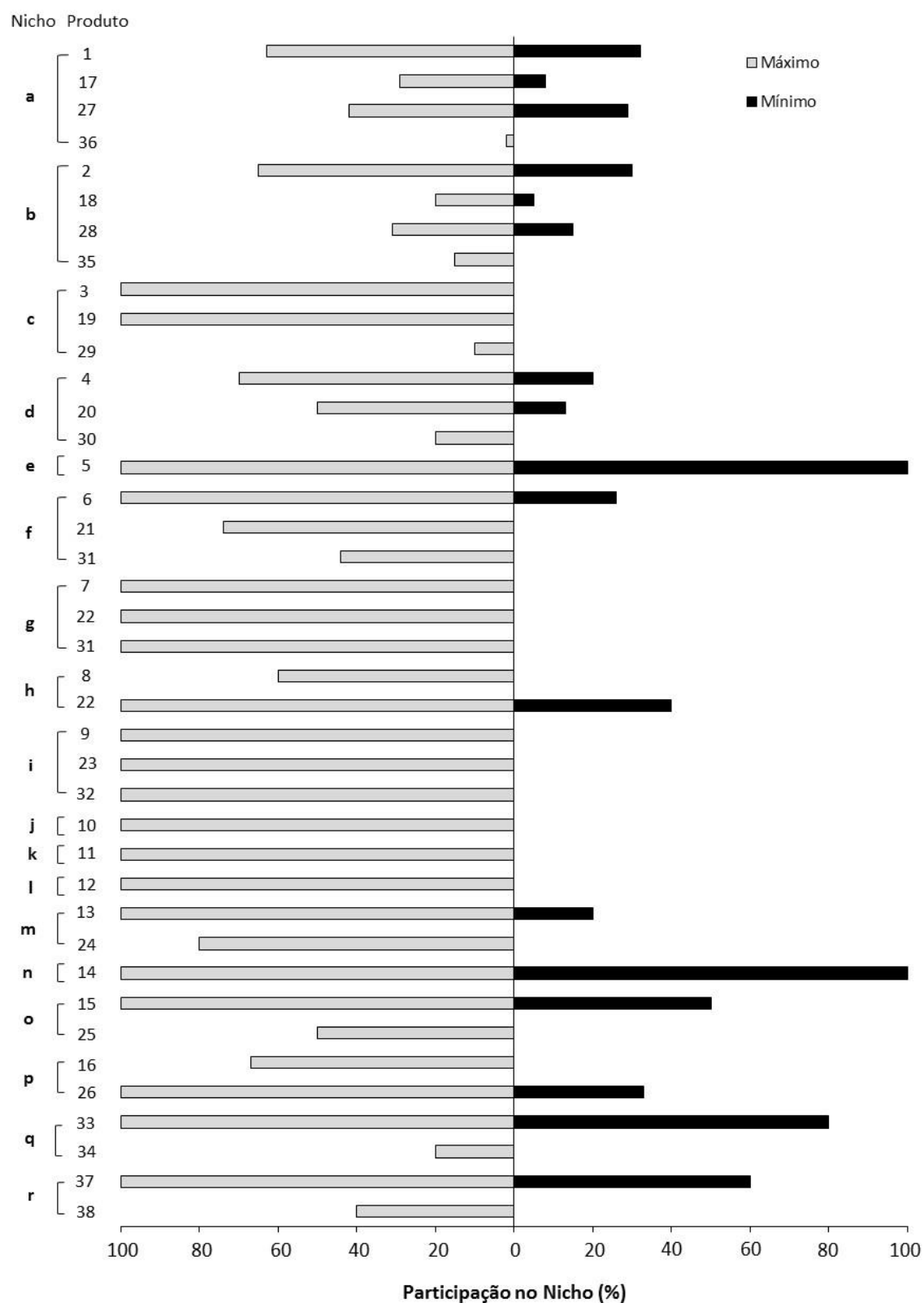
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII
35									95		95		
3		100			100								
19				100									
29			95										
4						98							
20		100											
30	95												
5			100										
6		100											
21				98									
31			95					90	95				90
7				100			100	100					100
22		100											
31			95					90	95				90
8			98										
22		100											
9			100										
23		98											
32							98						
10					100		100	100		90			
11						100	100	100					100
12		100						100					
13									100			100	
24							90	98				100	95
14				100									
15		100											
25	90												
16							95		95				100
26					95				90	90			
33	100												
34											90		
37			100					100					
38						100	100						

Fonte: Elaboração do autor

Para finalizar a etapa de construção de cenários de demanda, foram calibrados os níveis máximos e mínimos de utilização de cada produto em cada nicho (Figura 5). Para tal, diversos atributos qualitativos de pouca objetividade foram considerados. Há herbicidas, por exemplo, cuja utilização só se pode dar em período seco devido à alta solubilidade do produto. Determinados inseticidas, por sua vez, têm a aplicação por

aviação agrícola vedada pela legislação e, portanto, são empregados apenas de forma preventiva. Essas entre tantas outras restrições seriam objeto de discussão entre área técnica e Suprimentos a fim de equacionar com equilíbrio os parâmetros limítrofes do uso de cada material.

Figura 5 - Participação máxima e mínima, em %, dos produtos em seus respectivos nichos



Fonte: Elaboração do autor

Desbravados os pormenores técnicos, partiu-se para a segunda etapa da modelagem, que trata da inserção do mercado fornecedor no sistema. Grosso modo, essa inserção subdivide-se em duas providências: (1) parametrizar restrições de carácter operacional, como capacidade de fornecimento, embalagens, entre outras; (2) explorar novos cenários comerciais. Para concretização da primeira tarefa, buscou-se no conjunto de fornecedores participantes da concorrência as referidas informações. A primeira providência visa tão simplesmente adequar as propostas à capacidade de fornecimento dos produtos pelos fornecedores, o volume das embalagens dos produtos e o faturamento mínimo exigido pelo fornecedor para realização da venda, respectivamente (Tabelas 5, 6 e 7).

Tabela 5 - Capacidade de fornecimento dos produtos, em mil hectares, por cada fornecedor (continua)

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII
1	275												
2	400						200						
3		20			20								
4						100							
5			30										
6		45											
7				50			50	30					50
8			10										
9			35										
10					50		150	150		150			
11						40	100	100					100
12		50						50					
13									150			150	
14				25									
15		50											
16							120		80				40
17					275								
18		400											
19				20									
20		100											
21				45									
22		10											
23		35											
24							150	150				150	150
25	50												
26					120				120	120			
27										275			

(Conclusão)

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII
28			400										
29			20										
30	100												
31			45					15	45				45
32							20						
33	70												
34											50		
35									100		400		
36				275									
37			25					25					
38						25	25						

Fonte: Elaboração do autor

Tabela 6 - Quantidade da embalagem, em hectares, de cada produto e cada fornecedor (Continua)

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII
1	10												
2	5						10						
3		20			10								
4						20							
5			20										
6		5											
7				5			5	20					5
8			5										
9			10										
10					5		5	5		10			
11						10	10	10					10
12		5						5					
13									10			5	
14				5									
15		20											
16							10	10					10
17					1								
18		5											
19				10									
20		10											
21				10									
22		5											
23		5											
24							5	5				5	5
25	5												
26					10				5	5			
27										20			

(Conclusão)

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII
28			1										
29			5										
30	5												
31			5					5	5				5
32							5						
33	5												
34												5	
35									20		20		
36				5									
37			5					5					
38						1	1						

Fonte: Elaboração do autor

Tabela 7 - Faturamento mínimo, em mil R\$, exigido para contratação dos fornecedores

	Faturamento Mínimo
I	200
II	100
III	200
IV	200
V	100
VI	100
VII	50
VIII	50
IX	50
X	200
XI	70
XII	200
XIII	30

Fonte: Elaboração do autor

A segunda providência, a exploração de novos cenários comerciais, passa necessariamente por provocar os fornecedores a ofertar condições distintas para pacotes de aquisição diferentes. Portanto, para que tal estratégia permitisse que fossem aproveitadas economias de escala e escopo, induziu-se o mercado fornecedor a ofertar pelo menos três propostas (Tabela 8). A primeira delas deveria trazer condições comerciais para vendas avulsas ou spot, aquelas nas quais o comprador não garante volumes contratuais relevantes. Em contraposição, para confecção da

segunda modalidade de proposta, enviou-se - para o rol de produtos ofertados pelo respectivo fornecedor - volumes de aquisição consideráveis e pré-determinados contratualmente, representados pelo parâmetro PP_{ik} . Uma terceira e última possibilidade de proposta foi incluída, na qual se oferece ao fornecedor a oportunidade de realizar a venda de toda a sua capacidade de fornecimento ou CF_{ik} – respeitada a máxima demanda existente por parte do comprador.

Tabela 8 - Quantidades mínimas, em mil hectares, e custos, em R\$/hectare, das propostas comerciais 1, 2 e 3 (Continua)

Produto	Fornecedor	Nichos	Proposta 1		Proposta 2		Proposta 3	
			Quantidade mínima	Custo	Quantidade mínima	Custo	Quantidade mínima	Custo
1	I	a	0	49,76	150	45,00	275	41,25
2	I	b	0	24,73	260	22,25	400	21,50
30	I	d	0	15,00	20	13,00	100	12,70
25	I	o	0	8,02	10	7,22	50	7,22
33	I	q	0	53,82	70	48,42	70	45,00
18	II	b	0	21,75	64	20,50	400	17,75
3	II	c	0	6,75	20	5,75	20	5,25
20	II	d	0	22,32	25	20,16	100	18,40
6	II	f	0	42,88	45	36,75	45	35,00
22	II	g	0	35,10	10	31,50	10	29,70
22	II	h	0	35,10	10	31,50	10	29,70
23	II	i	0	1,20	15	1,20	35	1,20
12	II	l	0	25,00	50	20,50	50	20,50
15	II	o	0	9,40	40	9,00	50	8,00
28	III	b	0	15,84	125	14,88	400	13,20
29	III	c	0	13,00	2	12,00	20	10,00
5	III	e	0	35,20	30	33,10	30	30,40
31	III	f	0	33,60	45	27,00	45	25,00
31	III	g	0	33,60	45	27,00	45	25,00
8	III	h	0	56,44	10	51,00	10	47,00
9	III	i	0	2,35	35	2,10	35	1,89
37	III	r	0	42,00	10	40,25	25	35,00
36	IV	a	0	20,40	5	19,40	275	18,00
19	IV	c	0	15,00	10	14,00	20	12,50
21	IV	f	0	35,20	20	30,00	45	26,00
7	IV	g	0	21,25	50	19,50	50	18,75
14	IV	n	0	76,00	25	71,00	25	64,00
35	IX	b	0	26,75	60	25,50	100	25,50
31	IX	f	0	29,40	45	28,00	45	28,00
31	IX	g	0	29,40	45	28,00	45	28,00
16	IX	p	0	3,30	40	3,10	80	3,10

(Conclusão)

Produto	Fornecedor	Nichos	Proposta 1		Proposta 2		Proposta 3	
			Quantidade mínima	Custo	Quantidade mínima	Custo	Quantidade mínima	Custo
26	IX	p	0	5,60	80	5,50	120	5,50
13	IX	m	0	15,75	150	15,75	150	15,75
17	V	a	0	45,99	80	43,47	275	43,47
10	V	j	0	19,80	50	17,10	50	17,10
3	V	c	0	6,50	10	6,50	20	6,50
26	V	p	0	6,75	80	6,30	120	6,30
4	VI	d	0	19,50	70	18,80	100	18,80
11	VI	k	0	20,00	40	18,00	40	18,00
38	VI	r	0	20,00	25	18,75	25	18,75
2	VII	b	0	21,88	200	21,40	200	21,40
7	VII	g	0	20,00	50	17,50	50	17,50
32	VII	i	0	2,10	20	2,10	20	2,10
10	VII	j	0	19,80	150	18,90	150	18,90
11	VII	k	0	19,60	100	19,00	100	19,00
16	VII	p	0	3,20	80	3,20	120	3,20
38	VII	r	0	21,25	10	19,75	25	19,75
24	VII	m	0	16,80	120	15,00	150	15,00
31	VIII	f	0	26,60	15	24,00	15	24,00
7	VIII	g	0	17,50	30	17,00	30	17,00
31	VIII	g	0	26,60	15	24,00	15	24,00
10	VIII	j	0	19,80	150	18,00	150	18,00
12	VIII	l	0	22,50	50	21,00	50	21,00
11	VIII	k	0	19,40	100	17,70	100	17,70
37	VIII	r	0	35,00	25	34,30	25	34,30
24	VIII	m	0	15,00	120	15,00	150	15,00
27	X	a	0	36,30	115	32,00	275	29,70
10	X	j	0	18,90	100	18,54	150	18,54
26	X	p	0	5,70	120	5,40	120	5,10
35	XI	b	0	26,25	60	25,00	400	25,00
34	XI	q	0	81,15	14	67,50	50	67,50
13	XII	m	0	17,10	100	16,65	150	16,65
24	XII	m	0	15,00	50	14,40	150	14,40
31	XIII	f	0	28,00	45	26,60	45	26,60
7	XIII	g	0	20,00	50	17,50	50	17,50
31	XIII	g	0	28,00	45	26,30	45	26,30
11	XIII	k	0	19,60	100	18,00	100	18,00
16	XIII	p	0	3,00	40	2,80	40	2,80
24	XIII	m	0	15,00	120	15,00	150	15,00

Fonte: Elaboração do autor

O modelo e os dados explicitados anteriormente foram transcritos para a linguagem do software GAMS[®] (Apêndice A). Os desdobramentos da execução do modelo seguem na próxima seção.

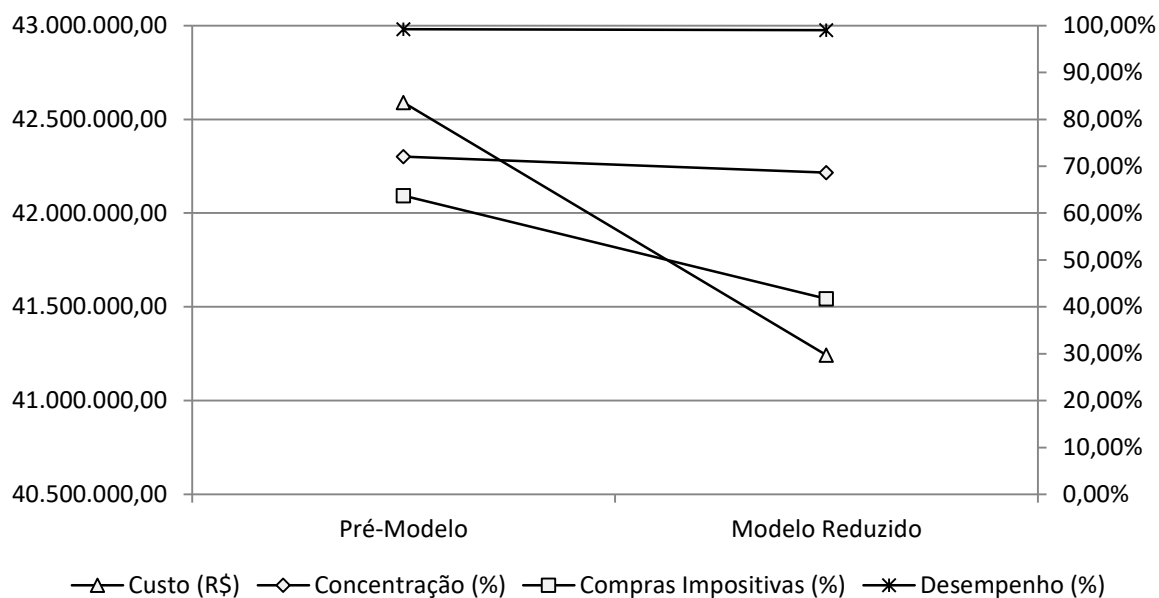
4.3 Desdobramento do modelo e cenários de avaliação

Para avaliar com o subsídio necessário a eficácia do modelo sob o ponto de vista de suas intenções inicialmente enunciadas (a seleção de fornecedores com o rompimento da lógica da demanda estática, com a exploração comercial da escala e escopo, tendo como consequência a redução dos custos em equilíbrio com a performance entregue) e das dificuldades apresentadas no estudo de um caso hipotético da aquisição dos defensivos agrícolas na agroindústria canavieira (rentabilidade dependente do controle de custos e desequilíbrio no poder de barganha pelo monopólio originado pelas patentes), a análise dos resultados foi segmentada em três blocos.

O primeiro bloco traz um comparativo entre os resultados obtidos pela compra realizada com metodologia tradicional, aqui denominada “pré-modelo”, e a compra com o modelo limitado à construção de cenários de demanda, isto é, sem os artifícios concebidos para aproveitamento de escala e escopo. A referência a esta versão do modelo se dará por “modelo reduzido”.

Pela metodologia pré-modelo, a demanda é estática. Sendo assim, produtos com uso planejado não podem ter seus volumes de compra manipulados. Por essa lógica, se um produto patentado (identificável neste trabalho pela oferta única) é planejado, sua compra do fornecedor detentor dos direitos sobre essa patente passa a ser inevitável, e pode ser adjetivada como impositiva. Por sua vez, o modelo reduzido contempla a construção de cenários de demanda. Esta estabelece, entre outras providências, a expansão do entrechoque concorrencial para o nível de nichos de utilização, a inclusão de novos produtos no rol de empregáveis pela empresa e a fixação do volume mínimo de aquisição de cada produto elegível a compra - sendo este necessariamente menor ou igual ao volume inicialmente planejado. Tais modificações têm efeito direto sobre as compras impositivas e sobre os custos incorridos na aquisição (Figura 6).

Figura 6 – Evolução dos custos, em R\$, da concentração do montante contratual dos 5 maiores fornecedores contemplados, em % da compra total, das compras impositivas, em % da compra total, e do desempenho, em % de eficácia média, do pré-modelo para o modelo reduzido

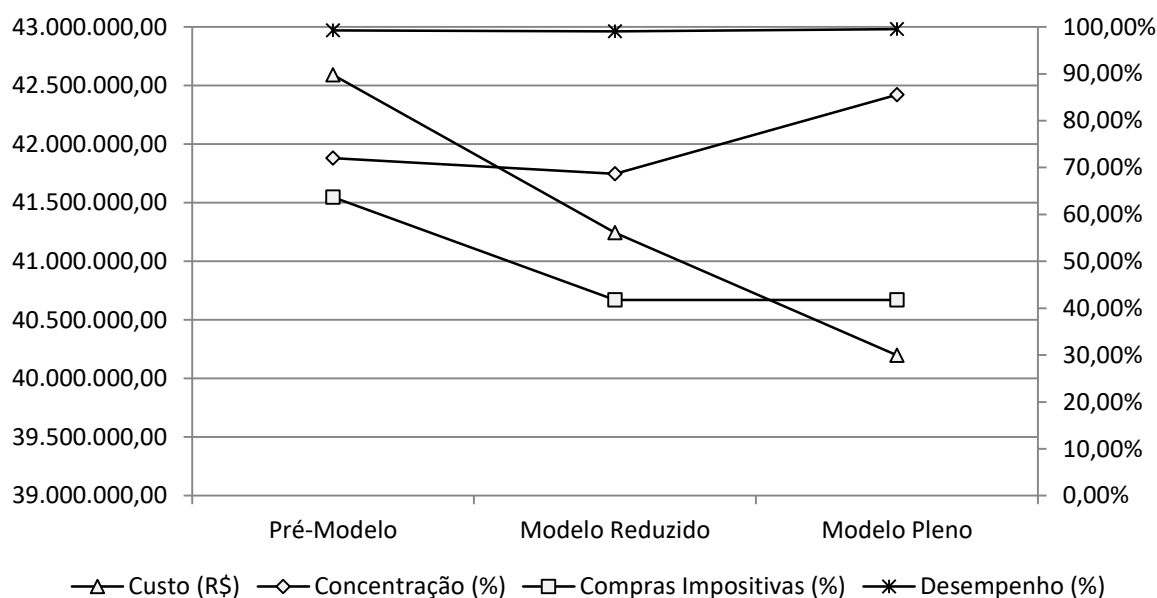


Fonte: Elaboração do autor

Antes de qualquer coisa, cita-se que, para ambos os casos, as restrições operacionais como lote mínimo de aquisição, capacidade de fornecimento e embalagens foram respeitadas. Partindo para a análise dos resultados, constata-se redução relevante nos gastos impositivos do pré-modelo para o modelo reduzido. Tal situação abre espaço para alocação de outros produtos em trechos anteriormente dominados por patentes. Por conseguinte, há redução significativa nos custos incorridos na aquisição do pacote do modelo reduzido. Esse enxugamento de custos é acompanhado por um desempenho adquirido praticamente inalterado, como também evidenciado na Figura 6. Vale lembrar que, embora seja óbvio que a redução dos gastos impositivos eleve o poder de barganha do comprador junto ao fornecedor, tal efeito não está contemplado nesta análise, visto que as condições comerciais não se alteram de um cenário para o outro. Por fim, a permanência do quadro de pulverização contratual – representada pela redução da concentração dos contratos nas mãos dos cinco maiores fornecedores do cenário pré-modelo para o modelo reduzido - é sintoma da ausência de indutores de aproveitamento de escala e escopo no modelo. Esta impertinência é a semente das discussões para o segundo bloco de análise dos resultados.

O segundo bloco de análises põe em contraposição o modelo reduzido e o “modelo pleno”, isto é, o modelo na forma como foi enunciado ao final da seção 3.2. Constatado no bloco 1 o incipiente aproveitamento das economias de escala e escopo, os fornecedores foram convocados a revisarem suas propostas para dois novos cenários: (1) volumes contratuais relevantes assegurados; (2) absorção da capacidade de fornecimento total do fornecedor, ou seja, a proposta de fornecimento exclusivo. Esta alteração promove resposta notável na redução dos custos e na concentração dos contratos (Figura 7).

Figura 7 - Evolução dos custos, em R\$, da concentração do montante contratual dos 5 maiores fornecedores contemplados, em % da compra total, das compras impositivas, em % da compra total, e do desempenho, em % de eficácia média, do modelo reduzido para o modelo pleno



Fonte: Elaboração do autor

O relevante impacto nos custos é ocasionado pela incorporação das economias de escala e escopo dos fornecedores I e VIII. A consequência da redução dos custos no desempenho médio do pacote selecionado pode ser considerada nula, dada a sua baixíssima variação. Adicionalmente, observa-se também notório aumento da concentração dos gastos contratuais em um número reduzido de fornecedores. Essa questão traz incertezas, mas também externalidades positivas. As incertezas se relacionam principalmente ao risco de ruptura no fornecimento. À medida que se reduz a base de fornecimento, argumentou Williamson (1991), perde-se flexibilidade pelo

aumento da interdependência e tal situação expõe a companhia a riscos transacionais. Por outro lado, a costura de acordos comerciais robustos equilibra ainda mais o poder de barganha junto aos fornecedores contemplados justamente pela elevação da interdependência. À medida que a carteira de vendas dos fornecedores junto à companhia se torna mais relevante, as concessões, tanto do ponto de vista comercial quanto do ponto de vista de nível de serviço, tendem a aumentar não só pelo incremento no nível de relacionamento, mas pelo risco de se perder vendas relevantes. Outro ponto de relevo é o fato de o modelo não ter alocado volumes de aquisição a nenhuma das propostas de fornecimento exclusivo, ou seja, de absorção completa da capacidade de fornecimento do fornecedor, que levaria à máxima consequência em termos de aproveitamento de economias de escala e escopo e possivelmente a uma redução ainda maior na base de fornecimento, abrindo caminho para estreitamentos de relacionamento. A investigação desta questão leva à conclusão de que as restrições técnicas de máximo e mínimo para os produtos impedem que isso se concretize. Tal constatação conduz ao terceiro bloco de análises.

À luz da constatação de que as possibilidades de fornecimento exclusivo foram todas inviáveis em virtude da atuação das restrições de máximo e mínimo dos produtos em cada nicho, resolveu-se simular os resultados para cenários de restrições relaxadas, no intuito de avaliar a magnitude dos ganhos ou perdas adicionais de escala e escopo *vis a vis* as concessões técnicas necessárias à efetivação dos mesmos. Dos treze fornecedores participantes da concorrência, apenas cinco apresentaram propostas comerciais mais vantajosas para tal modalidade. Para esses, portanto, as restrições atuantes no impedimento da aceitação da proposta foram flexibilizadas. A flexibilização consiste em igualar a soma do parâmetro Max_{ij} para i fixo e j variável ao parâmetro CF_{ik} e tornar nulos os parâmetros $Mín_{ij}$ de seus concorrentes de nicho. Esses cenários foram construídos separadamente (as flexibilizações em conjunto desmantelariam parte importante do modelo). Os resultados obtidos com tal operação são bastante distintos e abrem nova janela de oportunidades (Tabela 9).

Tabela 9 - Cenários de flexibilização quanto à aceitação da proposta de fornecimento exclusivo, redução de custo *versus* o modelo pleno, R\$, magnitude das concessões técnicas para viabilizá-las, em hectares, e concentração do montante contratual dos cinco maiores fornecedores contemplados, em % das compras totais

	I	II	III	IV	X
Proposta Fornecimento Exclusivo?	Não	Não	Sim	Sim	Sim
Redução de custo frente ao modelo pleno	770.739,85	0,00	1.651.221,73	5.555.129,90	2.247.274,34
Concessões Técnicas	190.500	0	477.500	483.500	270.500
Concentração	92,80	85,50	84,04	77,11	77,51

Fonte: Elaboração do autor

Antes do aprofundamento das análises acerca das informações dispostas anteriormente, um importante esclarecimento é necessário. A flexibilização das restrições técnicas para simulações sem o prévio aval da área responsável pelas recomendações faz com que o desempenho adquirido tenha seu valor relativizado. Por essa razão, o enfoque é dado à redução dos custos frente à modelagem plena não relaxada. A razão pela qual não se excluiu do modelo a performance dos produtos nesta fase está ligada ao fato de que, para os demais nichos não arrolados no relaxamento, tal balanço entre custo e desempenho ainda se faz válido. Essa questão ficará clara no desenrolar das discussões sobre os cenários flexibilizados.

Pela análise da Tabela 9 verifica-se que o relaxamento das restrições para os fornecedores I, II, III, IV e X produziu recomendações de fornecimento exclusivo nos casos de III, IV e X. É visível que os ganhos obtidos pela flexibilização das restrições no caso IV são bastante superiores aos outros dois. Por outro lado, este impõe as maiores modificações na recomendação técnica padrão. Ainda, observa-se que, via de regra, a concentração dos contratos nos cenários de fornecimento exclusivo diminui, o que evidencia que as economias de escopo e escala ficam limitadas aos fornecedores aos quais esta proposta contempla. Não menos importante é a constatação de que os relaxamentos não conduziram à aceitação da proposta para os fornecedores I e II. Neste último, inclusive, não há qualquer variação frente à configuração apresentada no bloco dois.

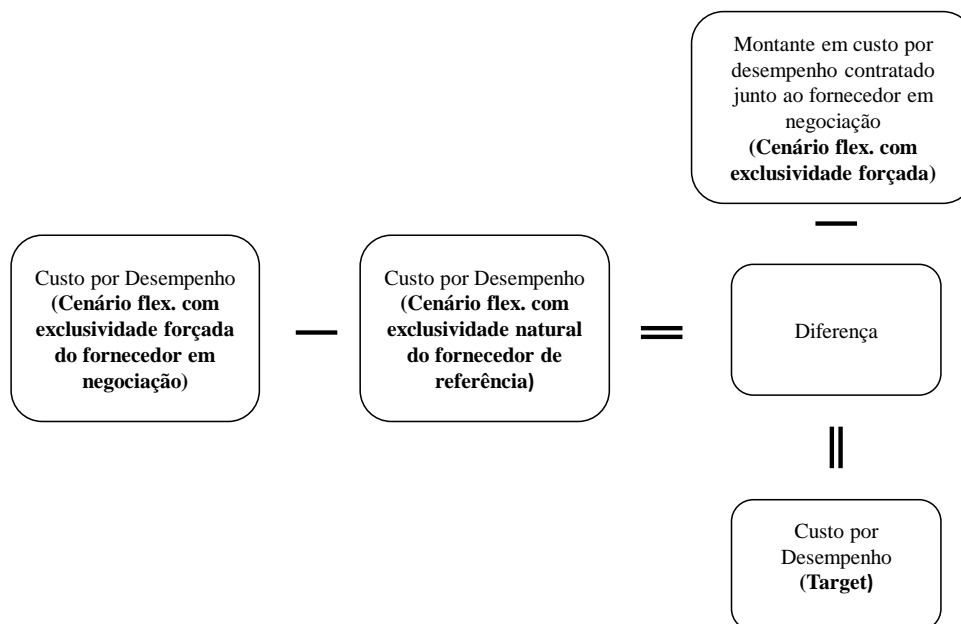
Os cenários simulados neste bloco três, acompanhados das observações anteriores, geram o insumo necessário para a reabertura das negociações técnico-comerciais em

duas frentes: (1) para os cenários de fornecimento exclusivo, internamente, junto à área técnica da companhia. A esse departamento caberá avaliar, com o acompanhamento e colaboração de suprimentos, o impacto dos ganhos e a viabilidade das modificações necessárias para captura-los; (2) para os cenários em que a proposta não foi alocada no resultado, externamente, com os fornecedores. Sem as barreiras técnicas, a única razão para a não alocação da proposta pelo modelo é a falta de atratividade das ofertas comerciais por eles apresentadas.

Na frente de negociações internas, a possibilidade de número IV, de maior ganho, foi descartada de pronto. A maior parte da redução de custo verificada estava no nicho A e residia na troca dos produtos 1, 17 e 27 pelo 36. Tal operação foi considerada muito arriscada do ponto de vista técnico, visto que as recomendações iniciais davam aval para que este produto tivesse participação máxima de menos de 2% da área total do nicho A. Sob a pressão eloquente dos números, no caso dos fornecedores X e III, a área técnica sinalizou positivamente para aceitação das propostas, com algumas ressalvas: (1) apenas um cenário de flexibilização deveria ser aceito; (2) embora as substituições envolvessem produtos com empregabilidade similar, os impactos em qualidade seriam imprevisíveis; (3) há predileção por se trabalhar com os fornecedores I e II ao invés de X e III e, sendo assim, Suprimentos teria a tarefa de negociar o mesmo benefício comercial junto a esses fornecedores antes de aceitar a proposta dos mais competitivos.

Para que a proposta de fornecimento exclusivo deste fornecedor se igualasse do ponto de vista comercial à ofertada pelo fornecedor X seria necessário um reajuste. A magnitude desse reajuste foi obtida pela seguinte operação: (1) forçou-se o modelo a gerar o cenário de aceitação desta proposta do fornecedor I; (2) subtraiu-se do custo por desempenho obtido neste primeiro passo o custo por desempenho obtido junto ao fornecedor X, gerando um excedente; (3) este excedente, por sua vez, foi subtraído do contrato do fornecedor I no modelo que forçou seu fornecimento exclusivo. O *target* para fechamento do negócio seria uma redução de 7,23% na proposta inicialmente feita para fornecimento exclusivo. A mesma lógica poderia ser aplicada ao fornecedor II comparativamente ao III, caso o fornecedor I descartasse tal esforço comercial (Figura 8).

Figura 8 - Fluxograma esquemático para cálculo do *target* a ser solicitado para o fornecedor em negociação



Fonte: Elaboração do autor

O caminho a trilhar seria, então, o de solicitar ao fornecedor I redução de custos da ordem de 7,23% para encaminhamento do referido negócio. Porém, retomando as ressalvas feitas pela área técnica, desenhou-se um conjunto de premissas que apontavam caminho promissor em outra direção: (1) o aval para flexibilização das restrições técnicas reduziu as compras impositivas e trouxe a certeza de uma opção alternativa aos fornecedores I e II, aumentando significativamente o poder de barganha dos compradores; (2) a área técnica aprovou as manobras sob pressão, mas fez a ressalva de que o desempenho com a extrapolação das restrições técnicas não era garantido, em uma clara indicação de que os benefícios comerciais poderiam se perder pelo inadequado manejo da cultura agrícola; (3) o volume assegurado nas propostas portfólio para ambos os fornecedores era menor que o máximo previsto nas restrições, situação que colocava à disposição de Suprimentos uma margem de manobra, descrita por Monczka et al. (2015) como poder de recompensa, em eventuais renegociações desta proposta com estes parceiros. Diante desse quadro, tomou-se a decisão de pleitear melhores condições comerciais para as propostas portfólio dos fornecedores I e II, ofertando em troca sensíveis elevações nos volumes destas – de maneira que se enquadrassem na restrição de máximo – e explicitando

que a alternativa a isso seria um acordo comercial esvaziado, referido por Monczka et al. (2015) como poder coercitivo, em virtude do encaminhamento de propostas exclusivas com outros fornecedores.

Para se chegar à magnitude exata do esforço comercial a ser requisitado destes fornecedores, utilizou-se de operação semelhante à descrita na Figura 9: forçou-se o modelo a alocar a proposta portfólio com volumes reajustados de ambos na solução – em separado e em conjunto – subtraindo desse resultado o valor obtido pelo fornecimento exclusivo junto ao fornecedor X. Essa diferença, portanto, deveria ser coberta pelos dois fornecedores – em conjunto ou em separado, dependendo do cenário testado (Tabela 10).

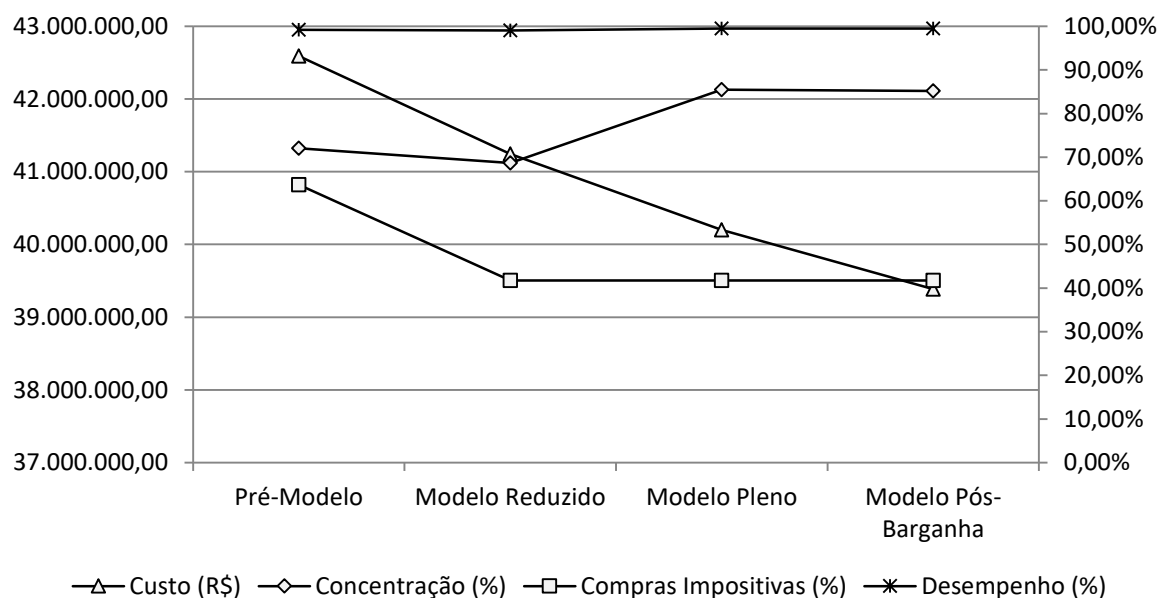
Tabela 10 - Magnitude das concessões, em hectares, e *target* na redução de preços, em %, para encaminhamento das propostas portfólio nas mesmas bases comerciais ofertadas pelo fornecedor X na proposta de fornecimento exclusivo

	I	II	I + II
Concessões	37.000	71.000	83.000
<i>Target</i>	14,41	46,56	13,15

Fonte: Elaboração do autor

Vê-se, portanto, que o equacionamento mais fácil se dá junto ao fornecedor I, que exige uma redução de 14,41% em seus preços informados na proposta portfólio. Embora a redução seja levemente menor no quadro que considera o fornecimento exclusivo de ambos, a negociação junto a dois agentes torna a tarefa mais complexa. Portanto, optou-se, por questões práticas, partir para a negociação com o fornecedor I. As discussões levaram a um meio termo, redução de 6,08% no pacote, ou seja, preços de fornecimento exclusivo exercidos na proposta de compra em portfólio. De posse disso, foram apresentados aos tomadores de decisão – incluídos aí os representantes da área técnica - os cenários finais: aceitar a proposta final do fornecedor I e reduzir o ganho possível, mas equalizar a performance aos parâmetros definidos previamente ou integrar-se ao fornecedor X, assumindo os riscos de um mau desempenho na manutenção da sanidade dos canais. A decisão foi na primeira direção (Figura 9).

Figura 9 - Evolução dos custos, em R\$, da concentração do montante contratual dos 5 maiores fornecedores contemplados, em % da compra total, das compras impositivas, em % da compra total e do desempenho, em % de eficácia média, do modelo pré-modelo ao modelo pós-barganha



Fonte: Elaboração do autor

Como pode ser averiguado, os cenários de flexibilização foram utilizados como ferramenta de negociação interna. Sabendo do imperativo do controle de custos, a apresentação de alternativas com efeitos robustos sobre estes empurrava a área técnica para posição desconfortável em caso de não aceitação. Por sua vez, a aceitação conferia a força necessária a Suprimentos para persuadir os fornecedores a melhorarem suas propostas para o cenário de menor risco operacional, sob pena de perdas maiores em caso contrário. Embora se tenha aberto mão da composição de contratos exclusivos, que pressupõe uma elevação no nível de relacionamento com o fornecedor, os contratos fechados em portfólio não excluem essa possibilidade, dependendo esta das providências concretas tomadas por ambas as partes nessa direção. A evolução dos indicadores da compra evidencia a efetividade da aplicação da abordagem proposta.

5 CONCLUSÕES

A seleção de fornecedores se mostrou uma tarefa de substantiva relevância para a competitividade de uma corporação. Além de sua influência sobre a estrutura de custos, exerce papel importante na qualidade dos produtos confeccionados pela empresa contratante. Há um sem número de maneiras de conduzi-la. A mais adequada depende fundamentalmente dos objetivos (atributos de decisão) almejados, da maturidade do departamento de Suprimentos e da configuração do mercado em que se vai navegar.

A abordagem do problema proposta neste estudo apresentou resultados satisfatórios quando avaliados à luz dos seus objetivos. Os conceitos modernos de suprimentos são vigas mestras dessa construção. É imprescindível, por exemplo, que os compradores tenham formação similar à da área técnica que atendem ou que, no mínimo, recebem da empresa as condições para aprofundamento nas temáticas que envolvem seus clientes internos. A cooperação interdepartamental também é central para a coesão dos trabalhos. Na estrutura corporativa, influência pressupõe poder de decisão, que se traduz em posicionamento hierárquico avantajado. Por fim, o assentamento das ideias derivadas de todos esses fatores em uma plataforma de análise avançada também é determinante para a tomada de decisões mais precisas. O principal trunfo da abordagem declarada reside na construção de cenários de demanda. Em primeiro lugar, seus efeitos imediatos são oferecer novos caminhos de aquisição que podem reduzir os custos sem afetar a qualidade do pacote de produtos obtidos. Promove ainda a possibilidade de um rearranjo no poder de barganha. Entre compradores e fornecedores, reduz eventuais relações de dependência lesivas ao saudável processo concorrencial. Já entre compradores e clientes internos, pode apontar caminhos nunca antes imaginados, mas que, pela substância de seus resultados, se tornam atalhos passíveis de avaliação sem amarras.

O aproveitamento das economias de escala e escopo é um lugar comum no mundo dos negócios. A articulação dos leilões combinatórios ao modelo converteu-se em resultados positivos, trazendo os custos a patamares inferiores sem necessariamente representar prejuízo ao desempenho dos produtos adquiridos. Ainda, oferece a possibilidade de concentrar os contratos em um número reduzido de fornecedores, algo que facilita a gestão do relacionamento e abre caminho para estreitamentos com viés estratégico. É necessário, porém, ter atenção quanto ao risco de relações de

interdependência desequilibradas, que podem levar a rupturas no fornecimento com impactos potenciais relevantes nas operações.

As limitações do estudo estão associadas à configuração do modelo matemático. Em primeiro lugar, trata-se de um MIP, que impossibilita que sensibilidades sejam analisadas sem a construção de inúmeros cenários possíveis. Em segundo lugar, a concepção de custo aqui apresentada não abrange fatores como estoque, custos de transação entre outros. Por fim, vale lembrar que o modelo é construído com base nos volumes planejados para execução contratual em um exercício financeiro (safra, ano fiscal etc.). Dado o período relativamente longo, esse planejamento, por razões alheias à vontade da área técnica e de suprimentos, pode ou não acontecer. Essa assimetria pode, por sua vez, transformar decisões acertadas no planejamento em equivocadas na execução.

Por óbvio, as limitações do estudo já indicam as pistas por onde se deve buscar o aprimoramento da pesquisa. Seria de grande valia, por exemplo, desenvolver modelagem em programação linear simples que permita a avaliação precisa de múltiplos cenários na análise de sensibilidade. Ainda, integrar a abordagem a um TCO ou metodologia correlata certamente daria caráter mais completo ao modelo. Por fim, contribuiria em muito para a real captação dos ganhos uma abordagem capaz de considerar a característica estocástica da demanda.

REFERÊNCIAS

AMMER, D.S. **Materials management**. McGraw-Hill/Irwin, 1974. ISBN 0256015562.

ANSOFF, H. I. **Corporate strategy: business policy for growth and expansion**. McGraw-Hill Book, 1965.

AVENALI, A. Exploring the VCG mechanism in combinatorial auctions: The threshold revenue and the threshold-price rule. **European Journal of Operational Research**, v.199, n.1, p. 262-275, 2009. ISSN 0377-2217.

BARROS, G. Agronegócio sucroalcooleiro: o que o país está perdendo. **Revista Opiniões**, ano 12, n. 44, p. 8-10, 2015. ISSN: 2177-6504

BENTON, W.; PARK, S. A classification of literature on determining the lot size under quantity discounts. **European Journal of Operational Research**, v. 92, n. 2, p. 219-238, 1996. ISSN 0377-2217.

BRANDMEIER, R. A.; RUPP, F. Benchmarking procurement functions: causes for superior performance. **Benchmarking: An International Journal**, v. 17, n. 1, p. 5-26, 2010. ISSN 1463-5771.

CAPLICE, C.; SHEFFI, Y. Optimization-based procurement for transportation services. **Journal of Business Logistics**, v. 24, n. 2, p. 109-128, 2003. ISSN 2158-1592.

CARTER, J. R.; NARASIMHAN, R. Is purchasing really strategic?. **International journal of purchasing and materials management**, v. 32, n. 4, p. 20-28, 1996.

CATALÁN, J. et al. Solving multiple scenarios in a combinatorial auction. **Computers & Operations Research**, v. 36, n. 10, p. 2752-2758, 2009. ISSN 0305-0548.

CHEN, I. J. et al. Strategic purchasing, supply management, and firm performance. **Journal of operations management**, v. 22, n. 5, p. 505-523, 2004.

COUSINS, P. D. Supply base rationalisation: myth or reality?. **European Journal of Purchasing & Supply Management**, v. 5, n. 3, p. 143-155, 1999.

DAHIEL, N.E. Vendor selection and order quantity allocation in volume discount environments. **Supply Chain Management: An International Journal**, v. 8, n. 4, p. 335-342, 2003. ISSN 1359-8546.

DE BOER, L. et al. A review of methods supporting supplier selection. **European Journal of Purchasing & Supply Management**, v. 7, n. 2, p. 75-89, 2001. ISSN 0969-7012.

DEGRAEVE, Z.; ROODHOOFT, F. Effectively selecting suppliers using total cost of ownership. **Journal of Supply Chain Management**, v. 35, n. 1, p. 5, 1999. ISSN 1523-2409.

ELLRAM, L. M. Total cost of ownership: an analysis approach for purchasing. **International Journal of Physical Distribution & Logistics Management**, v. 25, n. 8, p. 4-23, 1995. ISSN 0960-0035.

ELLRAM, L. M.; CARR, A. Strategic purchasing: a history and review of the literature. **International Journal of Purchasing and Materials Management**, v. 30, p. 9-9, 1994. ISSN 1055-6001.

FARMER, D. Developing purchasing strategies. **International Journal of Physical Distribution & Materials Management**, v. 11, n. 2/3, p. 114-121, 1981. ISSN 0269-8218.

GADDE, L.-E.; HÅKANSSON, H. The changing role of purchasing: reconsidering three strategic issues. **European Journal of Purchasing & Supply Management**, v. 1, n. 1, p. 27-35, 1994. ISSN 0969-7012.

GHODSYPOUR, S. H.; O'BRIEN, C. A decision support system for supplier selection using an integrated analytic hierarchy process and linear programming. **International journal of production economics**, v. 56, p. 199-212, 1998. ISSN 0925-5273.

GIACON, J. C. R. **Seleção de fornecedores por análise de decisão multicritério e otimização combinatória considerando aspectos de logística e sustentabilidade**. 2012. 138 p Dissertação - Universidade de São Paulo, São Paulo, 02/02/2012.

GOEBEL, D. J. et al. Enhancing purchasing's strategic reputation: Evidence and recommendations for future research. **Journal of Supply Chain Management**, v. 39, n. 1, p. 4-14, 2003. ISSN 1745-493X.

HAMEL, G.; PRAHALAD, C. K. The core competence of the corporation. **Harvard business review**, v. 68, n. 3, p. 79-91, 1990.

HILLIER, F.; LIEBERMAN, G. **Operations research concepts and cases**: Tata McGraw-Hill, New Delhi 2005.

HO, W.; et al. Multi-criteria decision making approaches for supplier evaluation and selection: A literature review. **European Journal of Operational Research**, v. 202, n. 1, p. 16-24, 2010. ISSN 0377-2217.

HOHNER, G. et al. Combinatorial and quantity-discount procurement auctions benefit Mars, Incorporated and its suppliers. **Interfaces**, v. 33, n. 1, p. 23-35, 2003. ISSN 0092-2102.

KOKANGUL, A.; SUSUZ, Z. Integrated analytical hierarch process and mathematical programming to supplier selection problem with quantity discount. **Applied mathematical modelling**, v. 33, n. 3, p. 1417-1429, 2009.

LAMBERT, D. M. et al. Developing and implementing supply chain partnerships. **The international Journal of Logistics management**, v. 7, n. 2, p. 1-18, 1996. ISSN 0957-4093.

MATSUSHITA, A. et al. Acordos de cooperação na indústria de agrotóxicos - 2000-09. **Indicadores Econômicos FEE**, v. 38, n. 2, 2010.

MONCZKA, R. M. et al. Value of supplier information in the decision process. **Journal of Supply Chain Management**, v. 28, n. 2, p. 20, 1992. ISSN 1523-2409.

MONCZKA, R. M. et al. **Purchasing and supply chain management**. Cengage Learning, 2015.

PAN, A. C. Allocation of order quantity among suppliers. **Journal of Supply Chain Management**, v. 25, n. 3, p. 36, 1989. ISSN 1523-2409.

PEARSON, J. N.; GRITZMACHER, K. J. Integrating purchasing into strategic management. **Long Range Planning**, v. 23, n. 3, p. 91-99, 1990. ISSN 0024-6301.

PORTER, M. E. Industry structure and competitive strategy: Keys to profitability. **Financial Analysts Journal**, v. 36, n. 4, p. 30-41, 1980. ISSN 0015-198X.

RECK, R. F.; LONG, B. G. Purchasing: a competitive weapon. **Journal of Supply Chain Management**, v. 24, n. 3, p. 2, 1988. ISSN 1523-2409.

ROZEMEIJER, F. Purchasing myopia revisited again? **Journal of Purchasing and Supply management**, v. 14, n. 3, p. 205-207, 2008. ISSN 1478-4092.

SONMEZ, M. **Review and critique of supplier selection process and practices**. Loughborough University, 2006. ISBN 1859011977.

UNICA (União da Indústria de Cana-de-açúcar). **Números finais da safra 2014/2015 e iniciais da nova safra 2015/2016**. 2015. Disponível em <
<http://www.unica.com.br/noticia/27460993920325965467/numeros-finais-da-safra->

2014-por-cento2F2015-e-iniciais-da-nova-safra-2015-por-cento2F2016/>. Acesso em: 29 ago.2016

VAN WEELE, A. et al. Professionalising purchasing in organizations: towards a purchasing development model. **Proceedings of the 7th Annual IPSERA Conference**, 1998. p.5-7.

XIA, W.; WU, Z. Supplier selection with multiple criteria in volume discount environments. **Omega**, v. 35, n. 5, p. 494-504, 2007. ISSN 0305-0483.

WEBER, C. A. et al. Vendor selection criteria and methods. **European journal of operational research**, v. 50, n. 1, p. 2-18, 1991. ISSN 0377-2217.

WEBER, C. A.; CURRENT, J. R. A multiobjective approach to vendor selection. **European Journal of Operational Research**, v. 68, n. 2, p. 173-184, 1993. ISSN 0377-2217.

WILLIAMSON, O. E. Comparative economic organization: The analysis of discrete structural alternatives. **Administrative science quarterly**, p. 269-296, 1991.

APÊNDICE A

Modelagem em GAMS® do "Modelo Pleno"

Todos os outros cenários são dele derivados em alguma medida.

SETS

```

i Products /1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15,
16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31,
32, 33, 34, 35, 36, 37, 38/
j Niches /a, b, c, d, e, f, g, h, i, j, k, l, m, n, o, p, q, r/
k Suppliers /I, II, III, IV, V, VI, VII, VIII, IX, X, XI, XII,
XIII/
l Proposals /1,2,3/;

```

PARAMETERS

```

D(j)           Demand of niche j (in hectares)
C(i,j,k,l)     Cost of product i in niche j from supplier k in
his proposal l (in US$ per hectare)
DE(i,j,k)      Performance of product i in niche j from supplier
k (in %)
Max(i,j)       Maximum area of product i in niche j (in hectares)
Min(i,j)       Minimum area of product i in niche j (in hectares)
CF(i,k)        Supplying capacity of product i by supplier k
(in hectares)
E(i,k)         Package size of product i by supplier k (in
hectares per package)
Fmin(k)        Minimum order size to be placed with supplier k
(in US$)
PP(i,k)        Portfolio proposal (l=2) volumes for product i
from supplier k;

```

```

D('a') = 275000;
D('b') = 400000;
D('c') = 20000;
D('d') = 100000;
D('e') = 30000;
D('f') = 45000;
D('g') = 50000;
D('h') = 10000;
D('i') = 35000;
D('j') = 150000;
D('k') = 100000;
D('l') = 50000;
D('m') = 150000;
D('n') = 25000;
D('o') = 50000;

```



```

D('p') = 120000;
D('q') = 70000;
D('r') = 25000;
Fmin('I') = 200000;
Fmin('II') = 100000;
Fmin('III') = 200000;
Fmin('IV') = 200000;
Fmin('V') = 100000;
Fmin('VI') = 100000;
Fmin('VII') = 50000;
Fmin('VIII') = 50000;
Fmin('IX') = 50000;
Fmin('X') = 200000;
Fmin('XI') = 70000;
Fmin('XII') = 200000;
Fmin('XIII') = 30000;

```

Table Max(i,j) upper limit of usage of product i in niche j

	a	b	c	d	e	f	g
h	i	j	k	l	m	n	o
p	q	r					
1	180000						
2		260000					
3			20000				
4				70000			
5					30000		
6						45000	
7							50000
8							6000
9							35000
10							
150000							
11							
100000							
12							
50000							
13							
150000							
14							
25000							
15							
50000							
16							
80000							
17	80000						
18		80000					
19			20000				
20				50000			
21						45000	

22 50000
 10000
 23 35000
 24
 120000
 25
 25000
 26
 120000
 27 115000
 28 125000
 29 2000
 30 20000
 31 20000 50000
 32 35000
 33
 70000
 34
 14000
 35 60000
 36 5000
 37
 25000
 38
 10000;

Table Min(i,j) lower limit of usage of product i in niche j

	a	b	c	d	e	f	g
h	i	j	k	l	m	n	o
p	q	r					
1	87500						
2		120000					
3			0				
4				20000			
5					30000		
6						11500	
7							0
8							0
9							0
10							
0							
11							
0							
12							
0							
13							
30000							
14							
25000							
15							
25000							

16									
0									
17	23000								
18		20000							
19			0						
20				12500					
21						0			
22								0	
4000									0
23									0
24									
0									
25									
0									
26									
40000									
27	80000								
28		60000							
29			0						
30				0					
31						0	0		
32								0	
33									
56000									
34									
0									
35			0						
36	0								
37									
15000									
38									
0;									

Table CF(i,k) supply capacity of product i from supplier k

	I	II	III	IV	V	VI	VII
VIII	IX	X	XI	XII	XIII		
1	275000						
2	400000						200000
3		20000			20000		
4						100000	
5			30000				
6		45000					
7				50000			50000
30000						50000	
8			10000				
9			35000				
10					50000		150000
150000		150000					
11						40000	100000
100000						100000	
12	50000						50000

13								
150000				150000				
14				25000				
15		50000						
16								120000
80000					40000			
17					275000			
18		400000						
19				20000				
20		100000						
21				45000				
22		60000						
23		35000						
24								150000
150000					150000	150000		
25	50000							
26								120000
120000	120000							
27								
275000								
28			400000					
29			20000					
30	100000							
31		95000						15000
45000					45000			
32								20000
33	70000							
34								
50000								
35								
100000		400000						
36				275000				
37		25000						25000
38						25000		25000
i								

Table E(i,k) Package size of product i by supplier k

	I	II	III	IV	V	VI	VII
VIII	IX	X	XI	XII	XIII		
1	10	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1		
2	5	1	1	1	1	1	10
1	1	1	1	1	1		
3	1	20	1	1	10	1	1
1	1	1	1	1	1		
4	1	1	1	1	1	20	1
1	1	1	1	1	1		
5	1	1	20	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1		

6	1	5	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1		
7	1	1	1	5	1	1	5
20	1	1	1	1	5		
8	1	1	5	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1		
9	1	1	10	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1		
10	1	1	1	1	5	1	5
5	1	10	1	1	1		
11	1	1	1	1	1	10	10
10	1	1	1	1	10		
12	1	5	1	1	1	1	1
5	1	1	1	1	1		
13	1	1	1	1	1	1	1
1	10	1	1	5	1		
14	1	1	1	5	1	1	1
1	1	1	1	1	1		
15	1	20	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1		
16	1	1	1	1	1	1	10
1	10	1	1	1	10		
17	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1		
18	1	5	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1		
19	1	1	1	10	1	1	1
1	1	1	1	1	1		
20	1	10	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1		
21	1	1	1	10	1	1	1
1	1	1	1	1	1		
22	1	5	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1		
23	1	5	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1		
24	1	1	1	1	1	1	5
5	1	1	1	5	5		
25	5	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1		
26	1	1	1	1	10	1	1
1	5	5	1	1	1		
27	1	1	1	1	1	1	1
1	1	20	1	1	1		
28	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1		
29	1	1	5	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1		
30	5	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1		

31	1	1	5	1	1	1	1
5	5	1	1	1	5		
32	1	1	1	1	1	1	5
1	1	1	1	1	1		
33	5	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1		
34	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	5	1	1		
35	1	1	1	1	1	1	1
1	20	1	20	1	1		
36	1	1	1	5	1	1	1
1	1	1	1	1	1		
37	1	1	5	1	1	1	1
5	1	1	1	1	1		
38	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1		

;

Table PP(i,k) Portfolio proposal (l=2) volumes for product i from supplier k

	I	II	III	IV	V	VI	VII
VIII	IX	X	XI	XII	XIII		
1	150000						
2	260000						200000
3		20000			10000		
4						70000	
5			30000				
6		45000					
7				50000			50000
30000						50000	
8			10000				
9			35000				
10					50000		150000
150000		100000					
11						40000	100000
100000						100000	
12	50000						50000
13							
150000			100000				
14				25000			
15		40000					
16							80000
40000					40000		
17					80000		
18		64000					
19				10000			
20		25000					
21				20000			
22		10000					
23		15000					

15. r		1		1		1		1		1		1
1	1		1		1		1		1		1	
16. r		1		1		1		1		1		1
1	1		1		1		1		1		1	
17. r		1		1		1		1		1		1
1	1		1		1		1		1		1	
18. r		1		1		1		1		1		1
1	1		1		1		1		1		1	
19. r		1		1		1		1		1		1
1	1		1		1		1		1		1	
20. r		1		1		1		1		1		1
1	1		1		1		1		1		1	
21. r		1		1		1		1		1		1
1	1		1		1		1		1		1	
22. r		1		1		1		1		1		1
1	1		1		1		1		1		1	
23. r		1		1		1		1		1		1
1	1		1		1		1		1		1	
24. r		1		1		1		1		1		1
1	1		1		1		1		1		1	
25. r		1		1		1		1		1		1
1	1		1		1		1		1		1	
26. r		1		1		1		1		1		1
1	1		1		1		1		1		1	
27. r		1		1		1		1		1		1
1	1		1		1		1		1		1	
28. r		1		1		1		1		1		1
1	1		1		1		1		1		1	
29. r		1		1		1		1		1		1
1	1		1		1		1		1		1	
30. r		1		1		1		1		1		1
1	1		1		1		1		1		1	
31. r		1		1		1		1		1		1
1	1		1		1		1		1		1	
32. r		1		1		1		1		1		1
1	1		1		1		1		1		1	
33. r		1		1		1		1		1		1
1	1		1		1		1		1		1	
34. r		1		1		1		1		1		1
1	1		1		1		1		1		1	
35. r		1		1		1		1		1		1
1	1		1		1		1		1		1	
36. r		1		1		1		1		1		1
1	1		1		1		1		1		1	

Table C(i,j,k,l) Cost of product i in niche j from supplier k in his proposal l

	1	2	3
1. a. I	49.76	45	41.25
17. a. V	45.99	43.47	43.47

27. a. X	36.3	32	29.7
36. a. IV	20.4	19.4	18
2. b. I	24.73	22.25	21.5
18. b. II	21.75	20.5	17.75
28. b. III	15.84	14.88	13.2
2. b. VII	21.88	21.4	21.4
35. b. XI	26.25	25	25
35. b. IX	26.75	25.5	25.5
3. c. II	6.75	5.75	5.25
19. c. IV	15	14	12.5
29. c. III	13	12	10
4. d. VI	19.5	18.8	18.8
20. d. II	22.32	20.16	18.4
30. d. I	15	13	12.7
5. e. III	35.2	33.1	30.4
6. f. II	42.88	36.75	35
21. f. IV	35.2	30	26
31. f. III	33.6	27	25
31. f. XIII	28	26.6	26.6
31. f. VIII	26.6	24	24
31. f. IX	29.4	28	28
7. g. IV	21.25	19.5	18.75
22. g. II	35.1	31.5	29.7
7. g. VII	20	17.5	17.5
7. g. VIII	17.5	17	17
7. g. XIII	20	17.5	17.5
31. g. III	33.6	27	25
8. h. III	56.44	51	47
22. h. II	35.1	31.5	29.7
9. i. III	2.35	2.1	1.89
23. i. II	1.2	1.2	1.2
32. i. VII	2.1	2.1	2.1
31. g. XIII	28	26.3	26.3
31. g. VIII	26.6	24	24
31. g. IX	29.4	28	28
10. j. V	19.8	17.1	17.1
10. j. VIII	19.8	18	18
10. j. VII	19.8	18.9	18.9
10. j. X	18.9	18.54	18.54
11. k. VII	19.6	19	19
3. c. V	6.5	6.5	6.5
12. l. II	25	20.5	20.5
12. l. VIII	22.5	21	21
13. m. XII	17.1	16.65	16.65
11. k. VIII	19.4	17.7	17.7
11. k. VI	20	18	18
11. k. XIII	19.6	18	18
24. m. XII	15	14.4	14.4
14. n. IV	76	71	64
15. o. II	9.4	9	8
25. o. I	8.02	7.22	7.22

16. p. VII	3.2	3.2	3.2
16. p. XIII	3	2.8	2.8
16. p. IX	3.3	3.1	3.1
26. p. IX	5.6	5.5	5.5
33. q. I	53.82	48.42	45
34. q. XI	81.15	67.5	67.5
13. m. IX	15.75	15.75	15.75
37. r. III	42	40.25	35
37. r. VIII	35	34.3	34.3
38. r. VI	20	18.75	18.75
38. r. VII	21.25	19.75	19.75
26. p. X	5.7	5.4	5.1
26. p. V	6.75	6.3	6.3
24. m. XIII	15	15	15
24. m. VIII	15	15	15
24. m. VII	16.8	15	15

;

VARIABLES

$P(i,j,k,l)$ Quantity (in treated hectares) of product i in niche j by supplier k in the proposal l
 $BP(k,l)$ Binary variable that indicates if supplier k has its proposal l accepted (1 if yes 0 if not)
 $VE(i,k)$ Integer variable used to assure that purchase volume will occur only in package volume multiples
 A Total cost per performance acquired ;

Positive variable P ;
 Binary variable BP ;
 Integer variable VE ;
 $VE.up(i,k) = 1000000$;
 $OPTION optcr=0.000000000000$;

EQUATIONS

$CostP$ Total cost per performance acquired
 $Demand(j)$ Total demand of niche j (in hectares)
 $Maxi(i,j)$ Upper limit of usage of product i in niche j
 $Mini(i,j)$ Lower limit of usage of product i in niche j
 $SupplyC(i,k)$ Supply Capacity of product i from supplier k
 $Package(i,k)$ Assures that purchasing occurs only within the limits of package of produto i and supplier j
 $OrderS(k)$ Assures that any agreement is made upon the minimum order size required by supplier k
 $Proposal4(i,k,l)$ By accepting the conditions of proposal $l=3$ with supplier k integration occurs

```

Proposal3(i,k,l) By accepting the conditions of proposal l=2
with supplier k scale and scope economies are accessed
Proposal2(i,k,l) Auxiliary to the equation Proposal3
Proposall(i,k,l) Purchase is done ignoring scale and scope
possibilities by accepting proposal l=1
Proposal0(k) Auxiliary to the equation Proposall
;

CostP.. A =e= sum((i,j,k,l),
((P(i,j,k,l)*C(i,j,k,l))/DE(i,j,k))) ;
Demand(j).. sum((i,k,l), P(i,j,k,l)) =g= D(j) ;
Maxi(i,j).. sum((k,l), P(i,j,k,l)) =l= Max(i,j) ;
Mini(i,j).. sum((k,l), P(i,j,k,l)) =g= Min(i,j) ;
SupplyC(i,k).. sum((j,l), P(i,j,k,l)) =l= CF(i,k) ;
Package(i,k).. sum((j,l), P(i,j,k,l))/E(i,k) =e= VE(i,k) ;
OrderS (k).. sum((i,j,l), P(i,j,k,l)*C(i,j,k,l)) =g=
Fmin(k)*sum[l, BP(k,l)] ;
Proposal4(i,k,l).. sum(j, P(i,j,k,'3')) =e= CF(i,k)*BP(k,'3')
;
Proposal3(i,k,l).. sum(j, P(i,j,k,'2')) =l= CF(i,k)*BP(k,'2')
;
Proposal2(i,k,l).. sum(j, P(i,j,k,'2')) =g= PP(i,k)*BP(k,'2')
;
Proposall(i,k,l).. sum(j, P(i,j,k,'1')) =l= CF(i,k)*BP(k,'1')
;
Proposal0(k).. sum(l, BP(k,l)) =l= 1 ;

Model AgrochemicalsPurchase /all/ ;

Solve AgrochemicalsPurchase using mip minimizing A ;

Display P.L, BP.L, VE.L, P.M, BP.M, VE.M ;
execute_unload "Agchempurchase.gdx" P.L, BP.L, VE.L, P.M, BP.M,
VE.M;
execute 'gdxxrw.exe Agchempurchase.gdx var=P.L rng=p!A1:Z64000
rdim=4';
execute 'gdxxrw.exe Agchempurchase.gdx var=BP.L
rng=bp!A1:Z64000 rdim=2';
execute 'gdxxrw.exe Agchempurchase.gdx var=VE.L
rng=ve!A1:Z64000 rdim=2';

```