Análise da bibliografia em pesquisa operacional dos cursos de administração notas 4 e 5 no ENADE

A Pesquisa Operacional posiciona-se como área do conhecimento útil tendo-se em vista que disponibiliza conjunto de métodos e técnicas de identificação, análise e proposição de soluções para os problemas organizacionais. A Programação Linear, por sua vez, apresenta-se como capaz de influenciar o processo de tomada de decisão a partir da utilização de modelos de planejamento e intervenção na dinâmica organizacional. O objetivo deste trabalho é apresentar os principais modelos de Programação Linear aplicáveis à Administração com base na bibliografia em Pesquisa Operacional utilizada nos cursos de graduação em Administração cujas faixas de notas sejam 4 ou 5 no Exame Nacional de Desempenho de Estudantes (ENADE). A presente pesquisa é de abordagem qualitativa, exploratória e de bases documental e bibliográfica, tendo sido analisados 215 e 96 cursos, respectivamente, nas faixas de notas 4 e 5. Os cursos foram ordenados decrescentemente por número de alunos presentes ao ENADE 2012 e por meio de Curva ABC foram selecionados, respectivamente, 72 (estrato A) e 60 cursos (estratos A e B). Dezoito projetos pedagógicos de cursos foram analisados e 42 obras foram identificadas, sendo que 14 encontram-se fora de catálogo; das 28 restantes, 20 foram localizadas e integraram a segunda etapa da pesquisa. Dentre os 55 modelos identificados, 32 encontram-se referenciados em apenas uma obra, sendo os modelos mais comumente citados, a saber: Mix de Produtos, Transporte, Designação, Mistura, Custo de Matéria-Prima, Mochila, Corte de Chapas, Escalas de Pessoal e Logísticos em Geral. Cada um dos modelos foi, então, apresentado em suas principais características, neste trabalho. As dificuldades de implementação, no mundo real, variam de modelo para modelo, exigindo-se níveis específicos de esforços de planejamento e organização com intuito de melhorar os processos de identificação e análise dos problemas, proposição de soluções aplicáveis, aplicação dos modelos escolhidos e avaliação dos resultados obtidos. Por fim, sugere-se a realização de novos estudos dadas a complexidade e a importância do assunto.

Palavras-chave: Pesquisa Operacional; Programação Linear; Engenharia de Produção. ENADE.

Analysis of bibliography in operational research of courses of administration notes 4 and 5 in ENADE

The Operational Research is positioned as an area of useful knowledge, considering that it provides a set of methods and techniques for identifying, analyzing and proposing solutions to organizational problems. Linear Programming, in turn, presents itself as capable of influencing the decision-making process through the use of planning and intervention models in organizational dynamics. The objective of this work is to present the main models of Linear Programming applicable to the Administration based on the bibliography in Operational Research used in undergraduate courses in Administration whose grades are 4 or 5 in the National Student Performance Examination (ENADE). The present research is qualitative, exploratory and documental and bibliographic bases, having analyzed 215 and 96 courses, respectively, in the grades of grades 4 and 5. The courses were ordered decreasingly by number of students present to the ENADE 2012 and through ABC curves were selected, respectively, 72 (stratum A) and 60 courses (strata A and B). Seventeen pedagogical projects of courses were analyzed and 42 works were identified, of which 14 are out of catalog; Of the remaining 28, 20 were located and integrated the second stage of the research. Of the 55 identified models, 32 are referenced in only one work, the most commonly cited models being: Product Mix, Transportation, Designation, Mixture, Cost of Raw Material, Backpack, Cutting of Sheets, Scales of Personal and Logistics in General. Each of the models was then presented in its main characteristics, in this work. Implementation difficulties in the real world vary from model to model, requiring specific levels of planning and organization efforts to improve problem identification and analysis processes, proposing applicable solutions, applying the chosen models, and evaluating Of the results obtained. Finally, it is suggested to carry out new studies given the complexity and importance of the subject.

Keywords: Operations Research; Linear Programming; Administration; ENADE.

Topic: **Operações e Processos da Produção**

Received: **25/01/2017**

Approved: **25/03/2017**

Reviewed anonymously in the process of blind peer.

Reginaldo Moraes de Macedo

Universidade Estadual de Montes Claros, Brasil

<http://lattes.cnpq.br/0917411323478857>

reginaldo.m.macedo@gmail.com

Narciso Ferreira dos Santos Neto

Universidade Estadual de Montes Claros, Brasil

<http://lattes.cnpq.br/5703335372799074>

narciso_santos1@yahoo.com.br

Carlos Renato Theóphilo

Universidade Estadual de Montes Claros, Brasil

<http://lattes.cnpq.br/4215223650613682>

crtheophilo@uol.com.br

Ismael Mendes dos Santos Júnior

Universidade Estadual de Montes Claros, Brasil

<http://lattes.cnpq.br/0934515697449530>

ismael.mendes@gmail.com

DOI: 10.6008/SPC2179-684X.2017.001.0021

Referencing this:

MACEDO, R. M.; SANTOS NETO, N. F.; THEÓPHILO, C. R.; SANTOS JÚNIOR, I. M.. Análise da bibliografia em pesquisa operacional dos cursos de administração notas 4 e 5 no ENADE. **Revista Brasileira de Administração Científica**, v.8, n.1, p.282-299, 2017. DOI: <http://doi.org/10.6008/SPC2179-684X.2017.001.0021>

INTRODUÇÃO

O Exame Nacional de Desempenho de Estudantes (ENADE) é realizado pelo Ministério da Educação do Brasil, por meio do Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira (INEP), desde sua instituição em 2004, em substituição ao sistema de avaliação anterior (BRASIL, 2016). Trata-se de exame obrigatório, realizado anualmente, sendo que os cursos de uma determinada área do conhecimento são avaliados trienalmente. De forma mais ampla, o ENADE compõe, juntamente com a Avaliação de Cursos de Graduação e a Avaliação Institucional, o Sistema Nacional de Avaliação da Educação Superior (Sinaes) (BRASIL, 2016).

Os resultados de uma determinada área são publicados, em média, 1 ano após a realização das provas e os cursos são distribuídos em faixas de notas que iniciam-se em 1 (menor qualidade) a chegam a 5 (maior qualidade) (BRASIL, 2016). Compreender os esforços das instituições de ensino superior que culminam em cursos de graduação referências em qualidade, certamente, integra um conjunto complexo de análises as quais envolvem diversos critérios, os quais, embora importantes, encontram-se fora do escopo deste trabalho.

Tal complexidade, contudo, não impede que estudos mais focados possam ser levados adiante, como é o caso deste trabalho que se dedica a analisar a bibliografia da área de Pesquisa Operacional dos cursos de graduação em Administração cujas notas estejam nos estratos 4 e 5. Espera-se que este estudo possa contribuir parcialmente para a construção de melhores projetos pedagógicos de curso na área de Pesquisa Operacional ao analisar as obras adotadas nos cursos de graduação selecionados, assim como o próprio conteúdo existente nas mesmas.

O foco na área de Pesquisa Operacional justifica-se pela sua importância para as organizações, em especial, daquelas que atuam nos segmentos de produção, operações e serviços. Isso ocorre pela adoção de métodos, técnicas e ferramentas que permitam a análise da situação atual, a descrição e o detalhamento de modelos visuais, heurísticos e matemáticos adequados e aderentes à realidade tanto quanto seja possível, assim, como pela proposição e análise de oportunidades de melhoria e, por fim, o provimento de métodos e técnicas de planejamento, acompanhamento, controle e avaliação das decisões tomadas e de seus impactos no curto, médio e longo prazos.

Neste contexto, a Pesquisa Operacional enquanto conjunto estruturado de conhecimentos tem sua utilização bastante difundida no segmento industrial no que tange à definição de modelos heurísticos e matemáticos para identificação, análise e resolução de problemas, assim como realização de simulações e análise do processo de tomada de decisão contra a Natureza, bem como contra oponentes reais e virtuais, sendo que a otimização dos processos constitui-se também foco da Pesquisa Operacional (MORABITO et al., 2010).

[...] por meio do uso de técnicas como a modelagem matemática para analisar situações complexas, a Pesquisa Operacional dá aos executivos o poder de tomar decisões mais efetivas e de construir sistemas mais produtivos, baseados em dados mais completos, consideração de todas as alternativas possíveis, previsões cuidadosas de resultados e estimativas de risco e nas mais modernas ferramentas e técnicas de decisão (MOREIRA, 2010).

Note-se que a modelagem matemática constitui, em termos metodológicos, o núcleo da Pesquisa Operacional, desde os seus primórdios, os quais remontam à Inglaterra e aos Estados Unidos da América, por volta dos anos 1930 (MORABITO et al., 2010). No contexto da Segunda Guerra Mundial, um conjunto de cientistas foi convocado para desenvolver um conjunto de métodos e modelos que permitissem otimizar a utilização de recursos como armamentos, radares, material de defesa e alternativas de deslocamento, dentre outros (BELFIORE et al., 2013).

A partir dos anos de 1950, o recrutamento dos antigos especialistas pelo ambiente empresarial e a parceria com as instituições de ensino permitiram o desenvolvimento de nova geração de pesquisadores de modelos e algoritmos com vistas à resolução tanto de problemas, até então, considerados insolúveis, quanto dos novos desafios trazidos à discussão (HILLIER et al., 2006).

A partir dos anos 2000, a Pesquisa Operacional passou a ser conhecida também por Ciência da Gestão, Ciência da Decisão ou *Business Analytics* a qual pode ser definida como "um campo de estudo que usa dados, computadores, estatística e matemática para resolver problemas comerciais. Ela envolve o uso de métodos e ferramentas científicas para conduzir a tomada de decisão" (RAGSDALE, 2014), sendo, assim, de caráter multidisciplinar, o que pode ser percebido pelo fato de que a Pesquisa Operacional é "[...] tão Administração quanto Matemática, e um matemático puro terá tantas dificuldades com ela quanto um administrador que não conheça nada de Administração" (COLIN, 2007).

O interesse pela Pesquisa Operacional e suas subáreas tem se tornado cada vez mais perceptível em função de fatores como a melhoria da eficácia e da eficiência das técnicas de coleta e armazenamento de dados; a mudança de paradigma dos gestores e decisores institucionais que passaram a considerar a importância de processos decisórios fundamentados em modelos adequados e não apenas em bases subjetivas; e o desenvolvimento de *hardware* e *software* capaz de executar com adequada velocidade os, não raras vezes, complexos modelos e algoritmos desenvolvidos pelos pesquisadores e gestores (BELFIORE et al., 2013).

A Programação Linear (PL), por sua vez, é "se não o mais popular, um dos modelos matemáticos mais populares" (MOREIRA, 2006) e "um dos mais importantes instrumentos do campo da Pesquisa Operacional" (CORRAR et al., 2008), fato este que justifica o interesse de estudiosos, gestores e estudantes, tendo-se em vista tratar-se dentre "[...] todas as técnicas gerenciais à disposição hoje em dia, a Programação Linear (ou PL) é uma das mais poderosas" (COLIN, 2007).

De forma objetiva, a Programação Linear (PL) pode ser definida como uma técnica de otimização de resultados cuja finalidade é determinar a melhor combinação linear (máximo ou mínimo valor, caso seja possível tal determinação) de um conjunto de grandezas, conhecidas como variáveis de decisão, submetidas a restrições previamente identificadas (PASSOS, 2008), envolvendo "a resolução de sistemas de equações (ou inequações) lineares representativos de modelos previamente elaborados".

A PL pertence à classe de modelos determinísticos da Pesquisa Operacional somando-se à Programação em Redes, à Programação Binária e Inteira, à Programação Não-Linear, à Programação por Metas ou Multiobjetivo e à Programação Dinâmica Determinística (EOM et al., 2006, citado por BELFIORE et

al., 2012). Conceitualmente, modelos determinísticos são “aqueles em que todas as variáveis envolvidas em sua formulação são constantes e conhecidas. É resultante, portanto, de uma única solução exata, por vezes, a solução ótima” (BELFIORE; FÁVERO, 2012).

As aplicações da Programação Linear incluem modelagem e resolução de problemas em diversas áreas do conhecimento humano e empresarial, incluindo, mas não se limitando a Administração, Agronomia, Contabilidade, Economia, Engenharias (em especial de Produção), Farmacêutica, Gestão de Projetos, Medicina Humana e Veterinária, Siderurgia, Redes de Tráfego, Simulação de Sistemas e Zootecnia, dentre outras.

No que se refere às áreas de Administração e Engenharia de Produção as aplicações estendem-se das Finanças Privadas e Públicas, aos Estudos de Eficiência Interna, à Administração de Recursos Materiais e Patrimoniais, Logística e Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos, à Gestão Mercadológica e do Comportamento do Consumidor, à Gestão Estratégica, à Gestão da Produção, Operações e Serviços, Fenômenos de Transporte e à Modelagem e Resolução de Problemas (ANDRADE, 2004, 2010; CAIXETA-FILHO, 2010; COLIN, 2007; CORRAR et al., 2008; FÁVERO et al., 2012, 2013; HILLIER et al., 2006; LACHTERMACHER, 2009, 2016; MELLO, 2012; MOREIRA, 2010; NASCIMENTO, 2012; PASSOS, 2008; RAGSDALE, 2009, 2014; RENDER et al., 2010; SILVA et al., 2007).

Considerando a importância do estudo e aplicação dos modelos de Programação Linear nas mais diversas áreas do conhecimento humano, conforme exposto, e a publicação pulverizada de modelos em um número significativo de obras e, ainda, a necessidade de se realizar benchmarking considerando como referências os cursos de Administração com as , enuncia-se o problema de pesquisa: ‘quais são os modelos de Programação Linear aplicáveis à Administração e à Engenharia de Produção mais frequentemente abordados na bibliografia básica e complementar dos cursos de Graduação em Administração das faixas de nota 4 e 5 do ENADE do ano de 2012?’.

Conhecer os modelos, técnicas e ferramentas da Pesquisa Operacional, em especial da Programação Linear, disponíveis para uso pelos gestores no âmbito empresarial pode garantir maiores indicadores de eficácia, eficiência e efetividade no desenvolvimento das atividades de tomada de decisão nas áreas supracitadas, sendo este um dos benefícios advindos deste trabalho. Adicionalmente, é importante mencionar que a utilização direcionada da bibliografia existente sobre o assunto pode facilitar o acesso às informações relacionadas aos diversos modelos de tomada de decisão apresentados.

Assim, o objetivo geral deste artigo é apresentar os principais modelos de Programação Linear aplicáveis à Administração com base na bibliografia em Pesquisa Operacional utilizada nos cursos de graduação em Administração cujas faixas de notas sejam 4 ou 5 no Exame Nacional de Desempenho de Estudantes (ENADE) do ano de 2012.

São objetivos específicos deste trabalho, a saber: estabelecer o perfil das instituições de ensino superior cujas faixas de notas sejam 4 ou 5 no Exame Nacional de Desempenho de Estudantes (ENADE) em 2012; estabelecer o perfil da bibliografia pesquisa em termos de diversidade de modelos de Programação

Linear apresentados; determinar os modelos de Programação Linear mais comumente discutidos na bibliografia pesquisada; e apresentar os modelos melhor ranqueados.

REVISÃO TEÓRICA

O Processo de Modelagem e Resolução de Problemas em Pesquisa Operacional

Antes de se buscar a efetiva resolução de um problema, torna-se necessário distinguir entre situação de confusão e problema, propriamente dito. Situação de confusão é o momento de caos envolvendo sintomas, impactos, deficiências, oportunidades, ameaças e outros aspectos que afastam ou impedem a compreensão efetiva da situação. Por sua vez, problema é uma situação bem definida, conhecida e passível de atuação com vistas à sua resolução, podendo-se compreender como um fator que impede a consecução dos objetivos previamente definidos ou implica em afastamento do curso de ação esperado. Normalmente, a situação de confusão deve ser analisada e compreendida permitindo que o problema possa ser enunciado por meio da utilização de métodos, técnicas, ferramentas e estilos de pensamento aplicado que permitam, em última instância, a formulação de modelos (POWELL et al., 2006).

Por sua vez, um modelo é uma representação da realidade, podendo-se afirmar que se trata de uma versão simplificada do objeto ou problema de decisão ao qual se vincula, e sua utilidade aumenta ou diminui conforme o modelo assemelha-se mais ou menos à realidade que pretende abstrair (POWELL et al., 2006; RAGSDALE, 2009). De forma mais específica, “um modelo válido é aquele que representa de maneira precisa as características relevantes do objeto ou problema de decisão que está sendo estudado” (RAGSDALE, 2009). Sua importância decorre do fato de que “[...] a modelagem em si é um atividade humana comum. Na realidade, ela parece ser uma das poucas maneiras pelas quais os humanos compreendem o mundo” (POWELL et al., 2006).

A utilização de modelos apresenta as seguintes vantagens, a saber: permite o estudo e compreensão das características e atributos mais significativos do objeto ou problema em estudo; reduz os custos de intervenção na realidade, propiciando forma e ambiente para análises prévias e ações controladas; podem ser circunstanciados no tempo e no espaço, conforme os objetivos daqueles que os estudam; permitem a análise de objetos e problemas que não possibilitam o estudo *in loco* em função de dificuldades técnicas, operacionais ou tecnológicas; e, por fim, permitem a melhoria do processo de tomada de decisão, o que pode ser considerado sua vantagem mais importante (RAGSDALE, 2009, 2014). Diversos processos de modelagem e resolução de problemas podem ser catalogados (MOREIRA, 2006), destacando-se os modelos de Powell et al. (2006) e Ragsdale (2009).

O modelo descrito por Powell e Baker (2006) parte do uso de dois estilos de pensamento, quais sejam, o divergente (busca maximizar a geração de ideias estimulando o levantamento de alternativas e opções de cursos de ação) e o convergente (que intenta analisar e ponderar as alternativas focando na determinação da melhor solução possível e aplicável para a resolução do problema) para, em seguida, estabelecer um processo de solução de problemas baseado em seis estágios.

São eles: exploração da confusão: na fase divergente busca os diversos problemas e oportunidades de solução, ao passo que na fase convergente aceita-se o desafio e são adotados os esforços necessários para oferecimento de uma solução para o problema que se está buscando identificar; procura de informações: na fase divergente ocorre a coleta do maior volume possível de dados envolvendo a situação e na fase convergente busca-se selecionar as informações mais relevantes; identificação do problema: na fase divergente foca-se na geração de alternativas para a correta enunciação do problema, ao passo que na fase convergente enuncia-se o problema da forma mais adequada quanto possível considerando-se suas especificidades.

Por conseguinte, tem-se: procura de soluções: na fase divergente ocorre a geração do maior número possível de alternativas de soluções a partir da utilização de métodos, técnicas e ferramentas analíticas, enquanto na fase convergente, apenas as alternativas de soluções consideradas viáveis são selecionadas para a próxima fase do processo; avaliação de soluções: na fase divergente são formulados os critérios objetivos aplicáveis e na fase convergente os critérios mais relevantes e aplicáveis são selecionados e aplicados para garantir maiores eficácia e eficiência das ideias; e, por fim, implementação de soluções: na fase divergente ocorre o planejamento da intervenção a ser realizada e dos recursos necessários para sua efetivação, enquanto na fase convergente, a solução mais indicada é efetivamente preparada para execução.

O modelo de Ragsdale (2009), por sua vez, identifica cinco processos, iniciando pela identificação do problema, momento em que a realidade tem seus dados levantados e as causas do problema são identificadas, sendo que “o simples fato de definir bem um problema o tornará muito mais fácil de ser resolvido” (RAGSDALE, 2009). A segunda etapa, formulação e implementação do modelo, envolve a escolha do método mais adequado para estruturação do modelo, podendo ser utilizadas técnicas visuais, não-visuais, matemáticas, devendo-se considerar que “o melhor modelo é o mais simples e o que reflete de maneira precisa a característica relevante ou a essência do problema estudado” (RAGSDALE, 2009). Note-se que o objeto ou problema de decisão em estudo é que, indiretamente, define o tipo ou categoria mais aplicável ou eficaz de processo, técnica ou ferramenta de modelagem; não é o pesquisador quem o faz.

A etapa subsequente, análise do modelo, envolve estabelecer estratégias ou métodos no âmbito do modelo que permitam encontrar a solução para o problema estudado visando atender a critérios previamente estabelecidos de eficácia e eficiência. Na etapa seguinte, teste dos resultados, o pesquisador buscará analisar os resultados obtidos a partir do uso do modelo proposto, sendo que estes podem ser satisfatórios, insatisfatórios ou mesmo inócuos; em casos de não haver a consecução dos objetivos, pode-se retornar à etapa de formulação e implementação do modelo.

Por sua vez, a última fase envolve a implementação da solução selecionada em tempo de modelagem no ‘mundo real’ o que deve, por sua vez, considerar as especificidades e atributos que, muitas vezes, não podem ser quantificados ou estabelecidos em um modelo, por melhor que seja a técnica, método ou ferramenta de modelagem utilizada, incluindo, evidentemente, os aspectos humanos e motivacionais, políticos e sociais.

Os modelos, de forma geral, são constituídos por variáveis, objetivo e restrições (ANDRADE, 2004, 2010; COLIN, 2007; CORRAR et al., 2008; FÁVERO et al., 2012, 2013; HILLIER et al., 2006; LACHTERMACHER, 2009, 2016; MOREIRA, 2010; PASSOS, 2008; RAGSDALE, 2009, 2014; RENDER et al., 2010; SILVA et al., 2007). As variáveis são as incógnitas do problema e representam as grandezas que o modelo intenta otimizar, seja sob a forma de maximização ou minimização, sendo quantidades, distâncias, volumes, tempos, ou quaisquer outras grandezas relevantes. “Os símbolos exatos utilizados para representar as variáveis de decisão não são particularmente importantes [...] é grandemente uma questão de preferência pessoal e pode variar de um problema para o outro” (RAGSDALE, 2009).

Note-se que as variáveis de decisão somente são agregadas ao modelo de Programação Linear após cuidadosa análise acerca de seu impacto no mesmo, não devendo ser criadas variáveis de decisão que não tenham correlação com o problema ou que não apresentem utilidade para o mesmo (HILLIER et al., 2008; RAGSDALE, 2009, 2014).

Note-se que o tipo da variável de decisão (contínua, discreta ou binária) presente no modelo estabelecerá o subtipo de Programação Linear a ser utilizado no momento da modelagem, sendo que na: Programação Linear (PL) todas as variáveis são contínuas; Programação Linear Inteira (PLI) todas as variáveis são inteiras; Programação Linear Inteira Mista (PLIM) as variáveis podem ser discretas ou contínuas; Programação Linear Binária (PLB) as variáveis são inteiras restringindo-se a valores binários, normalmente, 0 e 1; Programação Linear Binária Mista (PLBM) as variáveis podem ser binárias e contínuas; e Programação Linear Inteira Binária (PLIB) as variáveis são discretas e binárias (BELFIORE et al., 2012, 2013).

O objetivo é representado por uma função e, em se tratando, especificamente da Programação Linear, uma função linear, no formato $y = ax + b$. Embora não seja necessário reforçar, mas já o fazendo, é importante notar que o modelo somente será considerado de Programação Linear se tanto o objetivo quanto as restrições envolverem variáveis de decisão apenas sob a forma de funções lineares. A forma geral do objetivo em um modelo de Programação Linear é: MAX (ou MIN): $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ (HILLIER et al., 2008; RAGSDALE, 2009, 2014).

As restrições são fatores limitantes do modelo, podendo ser classificadas em técnicas e de não-negatividade. As restrições técnicas são impostas pelo mundo real como, por exemplo, demanda, disponibilidade de recursos diversos como tempo, matéria-prima e insumos ou, ainda, fatores decorrentes de decisões internas como níveis de produção mínima e/ou máxima, além de quaisquer outros fatores que possam interferir direta ou indiretamente nos resultados obtidos a partir do modelo e que tenham condições de mensuração e agregação ao próprio modelo (CORRAR et al., 2008).

Por sua vez, as restrições de não-negatividade são utilizadas para restringir os valores das variáveis de decisão ao mínimo de 0 (zero), tendo-se em vista que, na maioria das vezes, tais valores referem-se a grandezas cujos valores negativos poderiam violar a lógica de resolução do modelo, haja vista, não existirem tempo, quantidades de produtos e disponibilidades de recursos negativos (HILLIER et al., 2008; RAGSDALE, 2009).

De forma geral, as restrições podem ser estruturadas em restrições de ponto máximo em que $f(x_1, x_2, \dots, x_n) \leq b$, restrições de ponto mínimo em que $f(x_1, x_2, \dots, x_n) \geq b$ e restrições de ponto de igualdade em que $f(x_1, x_2, \dots, x_n) = b$, considerando que b é um valor conhecido como valor da restrição ou como valor do lado direito da restrição (LDR) (RAGSDALE, 2009).

METODOLOGIA

A presente pesquisa é de abordagem qualitativa, exploratória e de bases documental e bibliográfica, tendo sido pesquisadas obras nacionais e estrangeiras cuja temática seja a Pesquisa Operacional e, em especial, a Programação Linear. Na faixa 4 de pontuação no ENADE, para o curso de Administração, o número de instituições de ensino superior pesquisadas totalizou 215. Os cursos foram então ordenados decrescentemente por número de alunos participantes no ENADE 2015 e a partir da utilização de uma Curva ABC foram selecionados os cursos que estavam localizados no estrato A da referida curva, restando 72 cursos superiores de graduação em Administração, representando 70,02% dos alunos presentes ao ENADE 2012. Dos 72 cursos selecionados, havia 11 centros universitários (9 particulares e 2 públicos), 22 faculdades (21 particulares e 1 pública) e 39 universidades (17 particulares e 22 públicas).

Por sua vez, na faixa 5 de pontuação do ENADE, para o curso de Administração, foram identificados 96 cursos, os quais foram ordenados decrescentemente por número de alunos presentes no ENADE 2012. Em seguida, utilizou-se uma Curva ABC para selecionar os cursos da categoria A e B, ou seja, que correspondiam a, aproximadamente, 91,72% dos alunos participantes do ENADE 2012, totalizando 60 cursos, incluindo, desta forma, todas as universidades federais deste estrato. Dentre os 60 cursos pesquisados, havia 2 centros universitários (1 público e 1 privado), 16 faculdades (1 pública e 15 privadas) e 42 universidades (30 públicas e 12 privadas).

No total foram pesquisadas, individualmente, 115 instituições de ensino superior, uma vez que a Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (3), Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (2), Universidade Federal da Bahia (2), Universidade Federal de Goiás (2), Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (2), Universidade Federal de Pernambuco (2), Universidade Federal de Santa Maria (2), Universidade Federal do Ceará (2), Universidade Federal Fluminense (2), Universidade Paulista (9) e Universidade Presbiteriana Mackenzie (3) apresentaram mais de um curso avaliado.

Para execução da pesquisa, junto aos softwares de gestão acadêmica utilizado nas bibliotecas pesquisadas foram utilizados os descritores 'Pesquisa Operacional', 'Programação Linear', 'Otimização', 'modelos de PL', 'modelos de PO' e 'Problemas de PL'. As obras encontradas foram catalogadas em banco de dados no formato MS-Access, o qual incluía 'Código ISBN', 'Editora', 'Título', 'Autores', 'Edição', 'Ano de Publicação' e 'Palavras-Chaves' para geração de consultas e relatórios. Em seguida, os dados foram exportados para planilha do MS-Excel para geração de quadros, gráficos e tabelas.

Para as obras com mais de uma edição disponível nas bibliotecas consultadas ocorreu a análise das diferenças entre as edições e, em caso de alterações, nos capítulos relacionados aos assuntos pesquisados, as obras foram consideradas individualmente. A análise das obras selecionadas ocorreu por ordem alfabética

de título e envolveu a identificação dos capítulos referentes à Programação Linear, Programação (Linear) Inteira e Otimização em Redes. Note-se que tanto a denominação quanto a descrição e o processo de construção dos exemplos de modelos encontrados nas obras consultadas foram analisados. Disto decorre que, sob certas circunstâncias, vários exemplos, embora apresentassem denominação divergente mostraram-se semelhantes a modelo anteriormente classificado, não ocorrendo, portanto, a duplicidade de contagem.

Assim, a contagem total de modelos é inferior à contagem realizada diretamente a partir da enumeração dos modelos nas obras consultadas. Problemas com variantes foram registrados apenas uma vez, enquadrando-se nesta situação, modelos como Problema da Mochila, Problemas de Roteamento de Veículos e Problemas de Roteamento em Grafos (GOLDBARG et al., 2005).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Perfil das Instituições de Ensino Superior pesquisadas

Neste tópico são apresentados os perfis das instituições de ensino pesquisadas e da bibliografia consultada, os modelos gerais de Programação Linear e os modelos de rede mais frequentemente discutidos nas obras pesquisadas. O gráfico 1 resume a distribuição geral das instituições de ensino superior pesquisadas, com notas 4 e 5 no ENADE 2012. Observa-se uma maior prevalência de universidades (81) em relação às faculdades (38) e centros universitários (13), assim como concentração das universidades públicas (52), número superior àqueles dos centros universitários e faculdades, sejam públicos ou privados. Dentre as 29 universidades privadas há concentração de cursos avaliados na Universidade Paulista (9); Universidade Presbiteriana Mackenzie (3); Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (3); e Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (2); representando 58,62% dos cursos particulares avaliados.

Gráfico 1: Categoria Administrativa por Organização Acadêmica. **Fonte:** BRASIL (2016).

No que se refere à distribuição dos cursos pelas regiões geográficas destaca-se a região Sudeste com 41,67% dos cursos avaliados na faixa de nota 4 e 61,67% na faixa de nota 5, seguida pela região Sul com 26,39% dos cursos avaliados na faixa de nota 4 e 18,33% na faixa de nota 5. A região Norte apresenta o pior desempenho com apenas 1 curso na faixa de nota 4. A tabela 1 apresenta a distribuição dos cursos avaliados

nas faixas 4 e 5 do ENADE pelos estados brasileiros. Observa-se forte concentração nos estados de São Paulo com 20,83% e 28,33%, respectivamente, nas faixas 4 e 5 do ENADE, e Minas Gerais com, também respectivamente, 11,11% e 18,33%.

Tabela 1: Distribuição das Instituições de Ensino Superior analisadas por estado.

Estado	Faixa 4	%	Faixa 5	%
AL	1	1,39		
BA	5	6,94	2	3,33
CE	3	4,17	2	3,33
DF	2	2,78	1	1,67
ES	2	2,78	2	3,33
GO	2	2,78	3	5,00
MA	1	1,39	1	1,67
MG	8	11,11	11	18,33
MS	1	1,39	1	1,67
MT	1	1,39		
PB	2	2,78		
PE	2	2,78	1	1,67
PI	1	1,39		
PR	5	6,94	2	3,33
RJ	5	6,94	7	11,67
RN	1	1,39	1	1,67
RS	8	11,11	5	8,33
SC	6	8,33	4	6,67
SE	1	1,39		
SP	15	20,83	17	28,33
TOTAL	72		60	

Fonte: BRASIL (2016).

Em seguida, os sites das instituições de ensino foram pesquisados em busca do projeto pedagógico dos cursos a fim de que a bibliografia básica da disciplina Pesquisa Operacional ou equivalente, caso existente, fosse identificada. Os descritores utilizados para a pesquisa foram ‘Pesquisa Operacional’, ‘Programação Linear’, ‘Métodos Quantitativos’.

Do total de 132 instituições de ensino superior pesquisadas, o Projeto Pedagógico de Curso foi localizado em 17, a saber: na faixa de nota 4: Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca; Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro; Universidade de Brasília; e Universidade Federal de Alagoas; e na faixa de nota 5: Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais; Fundação Getúlio Vargas; Universidade Estadual de Maringá; Universidade Estadual de Montes Claros; Universidade Federal de Lavras; Universidade Federal de Pelotas; Universidade Federal de Santa Catarina; Universidade Federal de Santa Maria; Universidade Federal de Uberlândia; Universidade Federal de Viçosa; Universidade Federal do Ceará; Universidade Federal do Paraná; e Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

No que se refere aos projetos pedagógicos de curso examinados, destacam-se as seguintes situações: Universidade Federal de Santa Catarina: das 12 obras indicadas nas bibliografias básicas, apenas 3 encontra-se em catálogo regular, sendo a mais nova entre as demais de 1992. A média de publicação da bibliografia é de 1983 (uma das obras indicada não apresentava o ano de publicação na referência); e Universidade Federal do Paraná: possui apenas 1 referência básica, embora apresente outras 19 referências complementares que, entretanto, não se apresentam corretamente indicadas, faltando, por exemplo, número da edição e ano de

publicação da obra. Assim, as obras indicadas neste projeto político de curso não foram utilizadas neste trabalho.

A análise dos projetos pedagógicos de curso permitiu a identificação de 42 obras, dentre as quais 14 (quatorze) estão fora de catálogo momentaneamente ou encontram-se com publicação interrompida; das 28 (vinte e oito) obras restantes, 20 (vinte) puderam ser localizadas e efetivamente fazem parte do levantamento bibliográfico constante da segunda etapa deste trabalho.

Perfil da bibliografia consultada

A partir de uma visão convergente pode-se afirmar que, em relação aos modelos, estes existem sob diversas formas e tamanhos. Contudo, em termos de modelagem, toda a variedade pode ser resumida a quatro categorias básicas, quais sejam, os modelos: de alocação, que envolvem a maximização da lucratividade; de cobertura, relacionados à minimização dos custos de aquisição de matéria-prima, insumos e da produção, em geral; de mistura, os quais podem ser desdobrados também nos modelos de dieta; e de rede, que envolvem os problemas de transporte, logísticos em geral e de fluxos de processos de produção (POWELL et al., 2006).

Sob uma perspectiva divergente, por sua vez, o número de modelos passíveis de construção em Programação Linear é amplo, tendo-se em vista que “qualquer problema cujo modelo matemático se encaixe no formato bem genérico para o modelo de programação linear é um modelo de programação linear” (HILLIER et al., 2006).

Em termos da distribuição das áreas e subáreas da Pesquisa Operacional pelas obras, destacam-se a Programação Linear (21), Programação Não-Linear (12), Simulação (9), Programação de Metas e Multi-Objetivos (7), Análise de Decisão (7) e Métodos e Técnicas para Gestão de Projetos (7) e Teoria de Filas (6). Em termos de diversidade dos modelos abordados, destacam-se Goldbarg et al. (2005) com 44 (quarenta e quatro); Taha (2008) e Favéro et al. (2012) com 16 (dezesesseis); Colin (2007) e Ragsdale (2009, 2014) com 15 (quinze).

A partir da análise da bibliografia foram identificados 55 (cinquenta e cinco) modelos diferentes, já realizada a análise individual para eliminação das sobreposições, sendo que desses, 32 (trinta e dois) estão referenciados em apenas uma obra. Dentre os modelos presentes em mais de uma obra, destacam-se, a saber: *Mix* de Produtos (20), Transporte (19), Designação (18), Mistura (17), Custo de Matéria-Prima (15), Transbordo de Carga (14), Distância Mínima (13), Capacidade Máxima (11), Mochila (8), Corte de Chapas (8), Escalas de Pessoal (8) e Logísticos em Geral (8). A fim de facilitar a apresentação, os modelos foram separados entre modelos gerais e modelos de redes.

Modelos gerais de programação linear

O modelo de *Mix* de Produtos envolve determinar a melhor combinação de quantidades de produtos a fabricar considerando as restrições técnicas as quais podem envolver disponibilidade de recursos em geral (tempo, matéria-prima, insumos, etc.), demanda pelos produtos e decisões referentes aos níveis mínimo e

máximo de produção; visa-se, portanto, à maximização dos resultados de lucratividade. As variáveis de decisão referem-se aos produtos potencialmente fabricados pela empresa, o objetivo busca maximizar a função linear que representa o lucro total auferido pelas operações e decorre do lucro unitário de cada produto e da quantidade a ser, respectivamente, produzida (ou não) de cada um destes produtos.

As restrições técnicas representativas de recursos são do tipo ponto máximo, assim como as que representam níveis mínimos de produção, ao passo que as de produção mínima são do tipo ponto mínimo (BELFIORE et al., 2012, 2013; CAIXETA-FILHO, 2010; COLIN, 2007; CORRAR et al., 2008; GOLDBARG et al., 2005; HILLIER et al., 2006; MOREIRA, 2010; PASSOS, 2008; PIZZOLATO et al., 2009; POWELL et al., 2006; PRADO, 2010; RAGSDALE, 2009, 2016; SILVA et al., 2007; TAHA, 2008).

O modelo de *Mix* de Produtos pode ser utilizado em praticamente todos os tipos de organizações que tenham como objetivo o fornecimento de um composto mercadológico de produtos e serviços aos seus clientes, sendo de relativa facilidade em termos de construção, desde que os dados necessários possam ser levantados com confiabilidade e/ou estejam disponíveis de forma íntegra e segura. Apresenta potencial de impacto nas atividades de planejamento da produção, assim como pode ser utilizado durante as atividades de monitoramento e controle da produção.

O modelo de Mistura envolve a minimização do custo de produção de uma determinada mistura sendo especialmente utilizado nas áreas de Siderurgia, Farmácia e Bioquímica, Agronomia e Engenharia de Produção. As variáveis relacionam-se aos componentes da mistura a ser formulada, ao passo que as restrições envolvem o estabelecimento dos limites mínimos (restrição do tipo ponto máximo) e máximos (restrição do tipo ponto mínimo) (BELFIORE et al., 2012, 2013; LACHTERMACHER, 2016; PASSOS, 2008; POWELL et al., 2006; RAGSDALE, 2009, 2014); uma restrição específica deste modelo é a de composição da mistura que visa a garantir que o resultado final seja o esperado em termos de qualidade, assim como não ocorra desperdício de matéria-prima e insumo durante o processo de formação da mistura (restrição de ponto de igualdade) (SILVA et al., 2007).

O modelo de Dieta, por sua vez, é utilizado com frequência nas áreas de Nutrição Humana e Animal e Engenharia de Produção buscando minimizar os custos de formação de uma dieta, ao passo em que busca atender as carências nutricionais previamente estabelecidas. As variáveis são os diversos alimentos disponíveis e o que se pretende determinar respectivo é o seu nível de utilização na dieta. As restrições envolvem o estabelecimento dos limites mínimos (restrição do tipo ponto máximo) e máximos (restrição do tipo ponto mínimo) (BELFIORE et al., 2012, 2013; LACHTERMACHER, 2016; PASSOS, 2008; RAGSDALE, 2009, 2014).

Os modelos de Mistura e de Dieta envolvem o levantamento de conjuntos de dados acerca dos elementos e alimentos a serem utilizados, bem como das especificidades de cada mistura e dieta, contudo, o impacto na redução dos custos nos processos de produção pode ser percebido a partir da redução dos desperdícios com matéria-prima e insumos.

O modelo de Minimização de Custo de Matéria-Prima visa à minimização dos custos de compras de materiais para utilização nos processos produtivos da organização, sendo utilizado, sobretudo, em

organizações que operam sob contratos de fornecimento, embora com poucas alterações possa ser transformado em um modelo mais genérico. No modelo tradicional, em que os materiais são adquiridos por meio de lotes fixos indivisíveis oferecidos por um ou mais fornecedores previamente homologados, a composição de cada um dos lotes ou *kits* varia de acordo com a proposta dos respectivos fabricantes e/ou fornecedores forma um conjunto de características a serem gerenciadas no momento da enunciação das restrições.

As variáveis referem-se às quantidades de lotes ou *kits* a serem (ou não) adquiridos junto aos fornecedores, ao passo que o objetivo é a minimização dos custos decorrentes da aquisição dos diferentes lotes. As restrições envolvem os limites mínimos (restrição de ponto máximo) e máximos (restrições de ponto mínimo) de aquisição de matéria-prima para armazenagem e/ou uso durante o período de tempo estabelecido.

Restrições adicionais permitem estabelecer os volumes mínimos (restrição de ponto máximo) e máximos (restrição de ponto mínimo) de aquisição de materiais estabelecidas pelo contrato de fornecimento, assim como as disponibilidades (restrição de ponto máximo) de materiais no estoque do próprio fornecedor (CAIXETA-FILHO, 2010; FÁVERO et al., 2012, 2013; HILLIER et al., 2006; LACHTERMACHER, 2016; PASSOS, 2008; SILVA et al., 2007). A utilização deste modelo pode garantir melhor gerenciamento dos contratos de fornecimento da organização com seus parceiros e consequente maior desempenho das operações ao longo da cadeia de suprimentos.

O modelo para o Problema da Mochila busca estabelecer a melhor configuração de elementos para um subconjunto obtido, a partir de um conjunto específico, considerando a utilidade de cada objeto e seu respectivo atributo de ponderação (peso). As variáveis representam cada um dos objetos presentes no conjunto original e o objetivo do modelo é a maximização da utilidade total dos objetos carregados na mochila, ao passo que a principal restrição do modelo é o peso total desejado para a mochila. Este modelo é, em sua definição, um problema de Programação Linear Inteira Binária (COLIN, 2007; FÁVERO et al., 2012, 2013; GOLDBARG et al., 2012).

Embora aparentemente de solução simples, o modelo para o Problema da Mochila permite a resolução uma diversa gama de problemas correlatos. Outros pontos a serem considerados envolvem a grande diversidade de variantes do Problema da Mochila e a existência de implementações em duas e três dimensões que permitem expandir sua utilização para áreas como construção civil, siderurgia, indústrias aeronáutica e naval e logística, em especial, as funções de armazenamento e distribuição.

O modelo de Corte de Chapas é bastante utilizado nos segmentos industriais metalúrgicos, siderúrgicos e de construção civil, em específico de pisos e revestimentos, assim como na indústria de vestuário e busca minimizar as perdas com aparas e sobras na largura das chapas metálicas e tecidos. As variáveis representam as possibilidades de corte, assim como os comprimentos das chapas, enquanto as restrições referem-se aos comprimentos necessários das chapas e como podem ser formadas a partir das adequadas combinações das variáveis de decisão.

Existem diversas metodologias para a resolução deste problema, cada qual levando em consideração suas especificidades, incluindo questões como tipo de material, tipo de equipamento ou elemento a ser analisado e métodos e técnicas diferenciadas de modelagem e resolução (ANDRADE, 2009; COLIN, 2007; PASSOS, 2008; PIZZOLATO et al., 2009).

O modelo de Escalas de Trabalho tem como objetivo minimizar os custos de formação da escala de empregados de uma determinada organização, sendo variáveis de decisão o número diário de empregados que iniciam suas atividades laborais em cada dia da semana e as restrições, por dia da semana, o número mínimo de profissionais que devem ser alocados para o trabalho (FÁVERO et al., 2012, 2013; GOLDBARG et al., 2005; LACHTERMACHER, 2016; PASSOS, 2008; TAHA, 2008).

Modelos de rede

Uma subclasse especialmente importante dos modelos de Programação Linear é a dos modelos de rede, dentre os quais destacam-se os de transporte e/ou logísticos, quais sejam: o Modelo de Transporte Clássico (e seu caso especial, o Modelo de Designação ou Atribuição); o Modelo de Fluxo de Custo Mínimo; o Modelo de Distância Mínima; e o Modelo de Capacidade Máxima.

De início, cumpre-se estabelecer que entre o primeiro e os demais há uma diferença estrutural relacionada à existência apenas de nós de origem e de destino, ao passo que nos demais ocorrem nós de origem, de destino e mistos (também conhecidos como nós intermediários, de transbordo ou *transshipment*) (ANDRADE, 2009; HILLIER et al., 2006; LACHTERMACHER, 2016; PASSOS, 2008; RAGSDALE, 2009, 2014). São conceitos importantes para a compreensão dos Modelos de Redes de Programação Linear, a saber: nó, arco, peso, carga e balanceamento (ANDRADE, 2009; HILLIER et al., 2006; LACHTERMACHER, 2016; PASSOS, 2008; POWELL et al., 2006; RAGSDALE, 2009, 2014).

Nó: representa um local existente no sistema de transporte, podendo ser classificados em nó de origem, quando apenas origina um ou mais arcos, nó de destino, quando apenas opera como ponto final de um ou mais arcos e nó misto, quando simultaneamente é origem e destino de um ou mais arcos; adicionalmente, os nós podem ser classificados em nós de suprimento, quando disponibilizam carga para sistema de transporte, nós de demanda, quando solicitam carga do sistema de transporte e nós neutros, quando não ofertam nem demanda carga;

Arco: é uma linha que representa a conexão entre dois nós, sendo um de origem e outro de destino; normalmente, a identificação do arco baseia-se na aposição dos identificadores dos nós de origem e de destino. Quando, além da representação da conexão, a direção do fluxo existente entre os nós torna-se relevante costuma-se substituir a linha por uma seta indicativa da referida direção;

Peso: é um valor ou percentual atribuído ao arco que representa o impacto do mesmo no sistema de transportes podendo indicar tempo, custo, distância, capacidade, dentre outros;

Carga: é um valor atribuído ao nó e que, normalmente, representa a quantidade de produtos ou serviços ofertada ou demandada por aquele respectivo nó; note-se que, conforme indicado anteriormente, existem nós com carga nula, ou seja, igual a 0 (zero);

Balanceamento: situação em que a carga total ofertada no sistema de transporte é igual à carga total demandada; evidentemente, no mundo real, sistemas de transportes balanceados são raros e técnicas de balanceamento devem ser consideradas a fim de habilitar os modelos para resolução posterior. As principais técnicas de balanceamento envolvem a utilização de variáveis do tipo *dummy* ou a utilização de restrições sob a forma

de inequações e não de equações como no caso de sistemas balanceados (LACHERMACH, 2016; RAGSDALE, 2009, 2014).

O problema de Transporte Clássico forma uma classe especialmente importante dos modelos de Programação Linear, sendo seu principal objetivo minimizar os custos de transporte entre as origens e destinos presentes no sistema de transportes da organização. As variáveis referem-se às quantidades a serem potencialmente transportadas por cada arco, priorizando-se maiores volumes pelos arcos com pesos menores, respeitadas as restrições previamente levantadas.

As restrições técnicas classificam-se em três tipos, a saber: restrições dos nós de suprimento (do tipo ponto de igualdade, em caso de sistema balanceado) e que visam à distribuição das cargas de suprimento; restrições dos nós de demanda (também do tipo ponto de igualdade, também em caso de sistema balanceado) buscando garantir que todas as demandas sejam atendidas; e restrições por arcos com as especificidades existentes, como, por exemplo, quantidades mínimas, máximas ou exatas a serem transportadas por arco (ANDRADE, 2009; LACHERMACH, 2016; PASSOS, 2008; RAGSDALE, 2009; SILVA et al., 2007). Considerando as especificidades logísticas das organizações brasileiras, o modelo de Transporte Clássico pode auxiliar no estabelecimento de planos de distribuição mais eficazes e eficientes.

Embora não seja necessariamente um modelo logístico, o modelo de Designação ou de Atribuição é um caso específico do modelo de Transporte Clássico, sendo utilizado para o estabelecimento de relações unívocas entre origens e destinos buscando, em última instância, minimizar os custos destas atribuições. As variáveis de decisão representam as atribuições *per se* e as restrições referem-se à necessidade de que todos os nós de origem sejam atribuídos a 1 e somente 1 nó de destino e *vice-versa*.

Como no modelo de Transporte Clássico, as técnicas de balanceamento podem ser necessárias a fim de equilibrar o sistema, o que, neste caso, significa garantir o equilíbrio entre o número de nós de origem e de destino. Este modelo comumente envolve a atribuição de tarefas ou operadores à máquinas e/ou equipamentos e pode garantir maior eficiência na alocação dos recursos envolvidos nas operações de designação (BELFIORE et al., 2012, 2013).

No que se refere aos modelos conhecidos como Otimização em Redes, Hillier et al. (2006) e Ragsdale (2009, 2014) apresentam posicionamento contrário em relação à sua formulação; enquanto Hillier et al. (2009) aponta que os cargas de suprimento e 'arcos que saem dos nós' são positivos, ao passo que cargas de demanda e 'arcos que chegam nos nós' são negativos, Ragsdale (2009, 2014) propõe sistema de valoração dos arcos e nós diametralmente oposto.

Embora, não haja impacto nos resultados finais, sugere-se o modelo proposto por Ragsdale (2009, 2014), tendo-se em vista que, no momento da resolução por meio de planilhas eletrônicas, torna-se mais compreensível aos usuários. Antes da formulação do modelo, o responsável deve escolher um dos modelos supracitados atendo-se aos impactos que a escolha terá sobre o processo de formulação e resolução do modelo em questão.

O modelo de Fluxo de Custo Mínimo tem como objetivo minimizar os custos de transporte em um sistema logístico representado por uma rede de nós. As restrições envolvem, para cada nó, o equilíbrio dos pesos e das cargas, em um sistema balanceado (ANDRADE, 2009; HILLIER et al., 2006; LACHERMACH,

2016; PASSOS, 2008; RAGSDALE, 2009). Trata-se de um modelo extensamente utilizado por empresas de transporte e logística e que permite estabelecer a melhor configuração de carregamento e o sistema mais eficiente para geração do roteamento de cargas. Quando os arcos também possuem restrições, o modelo passa a ser conhecido como Fluxo de Custo Mínimo Capacitado (HILLIER et al., 2006).

O modelo de Distância Mínima busca determinar a menor distância entre dois nós quaisquer devidamente conectados e identificados no sistema logístico como nó de partida e nó de chegada; note-se que os pesos também podem representar tempos ou custos em situações análogas. Neste modelo, as variáveis de decisão representam os arcos que formarão a menor rota possível, caso seja possível defini-la. As restrições, sendo uma para cada nó, referem-se ao equilíbrio final necessário entre a somatória dos pesos dos arcos e as cargas dos nós as quais podem ser -1 para o nó de partida, +1 para o nó de chegada e 0 (zero) para os demais nós presentes no sistema (RAGSDALE, 2009, 2014).

Por sua vez, o modelo de Capacidade Máxima busca determinar o fluxo de carga máxima a ser transportada por um determinado sistema de arcos com restrições de capacidade. Uma das implementações deste modelo parte do pressuposto de que o sistema pode ser compreendido como um fluxo contínuo em que ocorre processo de retroalimentação da carga total utilizando toda a disponibilidade existente no sistema. Para construção do sistema, deve-se adotar um arco auxiliar que interligue o nó final do sistema ao nó inicial; este arco deve apresentar peso inatingível; em termos de objetivo, o valor final do sistema envolve a maximização do peso do arco auxiliar.

No que se refere às restrições técnicas, há dois tipos, a saber: referentes ao equilíbrio entre pesos e cargas, sendo que todas as cargas devem ser iguais a 0 (zero); e referentes às capacidades máximas em cada arco existente no sistema (ANDRADE, 2009; HILLIER et al., 2006; LACHTERMACHER, 2016; PASSOS, 2008; RAGSDALE, 2009). Este sistema é utilizado para resolução de problemas de fechamento de cargas em sistemas logísticos, assim como em sistemas de transporte por modais diversos em que existam restrições de carga ao longo das rotas.

Por fim, em relação aos modelos logísticos em geral, Goldbarg et al. (2005) apresenta uma detalhada discussão em torno dos problemas e modelos de conexão (árvores, caminhos e emparelhamento), otimização em redes e logística de distribuição, o Problema do Caixeiro Viajante (PCV) e suas variantes, os Problemas de Roteamento, incluindo o roteamento em nós e roteamento em arcos. O PCV é "[...] provavelmente o problema mais conhecido e estudado da [...] Programação Linear Inteira e em face disto "possui uma infinidade de casos particulares que podem ser utilizados para tratar das mais diversas variedades encontradas nos ambientes profissionais" (COLIN, 2007).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo deste trabalho foi apresentar os principais modelos de Programação Linear aplicáveis à Administração e à Engenharia de Produção, apresentando suas especificidades. Os modelos apresentados, conforme se pôde observar, encontram-se amplamente documentados na literatura específica sobre Programação Linear e Pesquisa Operacional, com maior ou menor grau de detalhes. Em geral, percebeu-se

que os modelos permitem um aprendizado relativamente rápido e possível para os profissionais das áreas de Administração e Engenharia de Produção, consideradas suas especificidades, conhecimento prévio e/ou predisposição para o aprendizado de técnicas e/ou ferramentas de modelagem de problemas, utilização de *softwares* específicos e/ou desenvolvimento e adaptação de planilhas eletrônicas.

As dificuldades de implementação, no mundo real, variam de modelo para modelo, exigindo-se níveis específicos de esforços de planejamento e organização com intuito de melhorar os processos de identificação e análise dos problemas, proposição de soluções aplicáveis, aplicação dos modelos escolhidos e avaliação dos resultados obtidos.

Considera-se que a adoção de um ou vários destes modelos para empresas com intenção de organização de processos e melhoria de resultados pode contribuir para a minimização dos riscos externos desde que haja sintonia na percepção e captação das variáveis e restrições e estruturação de objetivos condizentes com a realidade operacional e objetivos estratégicos.

Cabe ressaltar, porém, que a simples utilização de modelos, de qualquer tipo ou estrutura, não garante, *per se*, a obtenção de resultados positivos, devendo a mesma ser precedida, acompanhada e seguida por ações legítimas que busquem garantir a eficácia, a eficiência e a efetividade dos processos organizacionais.

Por fim, faz-se necessário estabelecer que este trabalho não teve como objetivo aprofundar-se na discussão matemática ou metodológica sobre a Pesquisa Operacional, Programação Linear e seus modelos, mas sim, de forma igualmente importante apresentá-los e relacioná-los à extensa bibliografia disponível, buscando acelerar o aprendizado e consequente utilização dos mesmos. Em face disto, sugere-se, inclusive a realização de novas pesquisas e estudos acerca destes e outros modelos de Pesquisa Operacional e Programação Linear.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, E. L.. **Introdução à Pesquisa Operacional:** métodos e modelos para análise de decisões. 3 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2004.

ANDRADE, E. L.. **Introdução à Pesquisa Operacional:** métodos e modelos para análise de decisões. 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2010.

BRASIL. Ministério da Educação. Exame Nacional de Desempenho dos Estudantes. Brasília: MC, 2016

CAIXETA-FILHO, J. V.. **Pesquisa Operacional:** técnicas de otimização aplicadas a sistemas agroindustriais. 2 ed. São Paulo: Atlas, 2010.

COLIN, E. C.. **Pesquisa Operacional:** 170 aplicações em Estratégia, Finanças, Logística, Produção, Marketing e Vendas. Rio de Janeiro: LTC, 2007.

CORRAR, L. J.; THEÓPHILO, C. R.. **Pesquisa Operacional para DECISÃO em CONTABILIDADE e ADMINISTRAÇÃO.** Contabilometria. 2 ed. São Paulo: Atlas, 2008.

FÁVERO, L. P.; BELFIORE, P.. **Pesquisa Operacional:** para cursos de Administração, Contabilidade e Economia. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012.

FÁVERO, L. P.; BELFIORE, P.. **Pesquisa Operacional:** para cursos de Engenharia. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013.

GOLDBARG, M. C.; LUNA, H. P. L.. **Otimização Combinatória e Programação Linear:** modelos e algoritmos. 2 ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2005.

HILLIER, F. S.; LIEBERMAN, G. J.. **Introdução à Pesquisa Operacional.** 8 ed. São Paulo: McGraw-Hill, 2006.

LACHTERMACHER, G.. **Pesquisa Operacional na tomada de decisões.** 4 ed. São Paulo: Pearson, 2009.

LACHTERMACHER, G.. **Pesquisa Operacional na tomada de decisões.** 5 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

MELLO, S. B. M.. **Jornada de Trabalho na perspectiva da Teoria de Jogos.** São Paulo: LTr, 2012.

MORABITO, R.; PUREZA, V.. Modelagem e Simulação. In: MIGUEL, P. A. C.. **Metodologia de Pesquisa em Engenharia de Produção e Gestão de Operações**. Rio de Janeiro: Campus Elsevier, 2010.

MOREIRA, D. A.. **Pesquisa Operacional**: Curso Introdutório. 2 ed. São Paulo: Cengage, 2010.

NASCIMENTO, S. V.. **Pesquisa Operacional e Análise de Investimentos**: suas aplicações na indústria e nos serviços com utilização do software LINDO. Rio de Janeiro: Interciências, 2012.

PASSOS, E. J. P. F.. **Programação Linear**: como instrumento da Pesquisa Operacional. São Paulo: Atlas, 2008.

PIZZOLATO, N. D.; GALDOLPHO, A. A.. **Técnicas de Otimização**. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

POWELL, S. G.; BAKER, K. R.. **A Arte da Modelagem com Planilhas**: ciência da decisão, engenharia de planilhas e arte da modelagem. Rio de Janeiro: LTC, 2006.

PRADO, D.. **Programação Linear**. 6 ed. Nova Lima: INDG, 2010.

RAGSDALE, C. T.. **Modelagem de Planilha e Análise de Decisão**. São Paulo: Cengage, 2014.

RAGSDALE, C. T.. **Modelagem e Análise de Decisão**. São Paulo: Cengage, 2009.

SILVA, E. M.; SILVA, É. M.; GONÇALVES, V.. **Pesquisa Operacional**: para os cursos de Economia, Administração e Ciências Contábeis. 3 ed. São Paulo: Atlas, 2007.

TAHA, H. A.. **Pesquisa Operacional**: uma visão geral. 8 ed. São Paulo: Pearson, 2008.