

# BOLETIM APDIO 49

2º Semestre de 2013

Editores:  
Ana Luísa Custódio  
Isabel Correia



Apdio

## EDITORIAL

Na época festiva que acabámos de viver, mais do que nunca estamos sensibilizados para a importância da Logística, ainda que num contexto familiar. No sector empresarial, 2013 foi porventura o ano em que mais se referiu a necessidade de reinventar a economia. A aposta numa melhor gestão Logística pode traduzir-se numa vantagem competitiva para as empresas, constituindo um factor chave para o sucesso. O actual número do Boletim da APDIO procura dar-nos uma visão, ainda que sempre limitada, de alguns dos papéis desempenhados pela IO no Sector Logístico.

Recordando que a área da energia foi considerada como de intervenção prioritária pela actual Direcção da APDIO, na secção Notícias, Carlos Henggeler Antunes resume brevemente o encontro "Investigação Operacional no Sector Energético".

Iniciando a temática subjacente ao presente número, Ana Póvoa, na rubrica Artigo de Opinião, aborda a importância da IO nos diferentes níveis de planeamento logístico e da cadeia de abastecimento. Por sua vez, Cláudio Alves, na secção Técnicas de IO, aponta a vantagem competitiva inerente à resolução integrada de problemas em cadeias de abastecimento, apresentando-nos alguns exemplos concretos que envolvem operações de distribuição.

Neste número tivémos o prazer de entrevistar Alcibiades Paulo Guedes, sócio da APDIO, que na qualidade de Presidente da APLOG – Associação Portuguesa de Logística, nos fala desta associação, do papel da Logística no tecido empresarial português e dos desafios que se colocam neste sector.

Sendo certo que o sucesso e a competitividade de qualquer empresa passam por uma gestão cuidada da sua relação com os clientes, a utilização de técnicas de *Data Mining* é abordada neste contexto na secção IO em Acção, com um trabalho da autoria de Vera Miguéis, Ana Camanho e João Falcão e Cunha.

O Boletim procura dar a conhecer instituições e profissionais que trabalham na área da IO, dentro e fora de Portugal. Desta vez, a secção IO em Portugal apresenta-nos a Unidade de Engenharia de Sistemas de Produção do INESC TEC, pela mão de Jorge Pinho de Sousa e Luís Carneiro. A nossa convidada da secção Portugueses em IO pelo Mundo é Ana Isabel Barros, residente na Holanda, que nos testemunha o seu percurso académico e profissional.

Terminamos com o Blog dos Sócios, onde Marta Gomes escreve um artigo com um título sugestivo! Com um estudo simples, a autora mostra quão dinâmica e participativa tem sido a comunidade portuguesa de IO nos últimos anos.

Desejamos a todos os leitores um excelente 2014 e, insistindo nas palavras de Marta Gomes, que todos saibam otimizar os recursos mais valiosos dos portugueses: o talento, a criatividade e a capacidade de trabalho!

Ana Luísa Custódio  
Isabel Correia

## 02 NOTÍCIAS

Investigação Operacional no Sector Energético

Carlos Henggeler Antunes

## 03 ARTIGO DE OPINIÃO

A IO na logística e cadeia de abastecimento

Ana Paula Barbosa Póvoa

## 05 TÉCNICAS DE IO

Optimização integrada em cadeias de abastecimento: um desafio da IO nos sistemas logísticos

Cláudio Alves

## 08 A IO EM PORTUGAL

A Unidade de Engenharia de Sistemas de Produção (UESP) do INESC TEC

Jorge Pinho de Sousa e Luís Carneiro

## 09 ENTREVISTA

Alcibiades Paulo Guedes

## 11 IO EM ACÇÃO

Gestão da relação entre empresas de retalho e clientes com recurso a *Data Mining*

Vera Lúcia Miguéis, Ana S. Camanho e João Falcão e Cunha

## 15 PORTUGUESES EM IO PELO MUNDO

Ana Isabel Barros

## 16 BLOG DOS SÓCIOS

A comunidade portuguesa de Investigação Operacional: uma comunidade especial

Marta Castilho Gomes



# INVESTIGAÇÃO OPERACIONAL NO SECTOR ENERGÉTICO

Carlos Henggeler Antunes,  
DEEC-FCUC / INESC Coimbra

Com a organização da APDIO, teve lugar no dia 28 de Junho de 2013, no Departamento de Engenharia Electrotécnica e de Computadores da Universidade de Coimbra, um encontro sobre a aplicação de modelos e métodos de Investigação Operacional (IO) no sector energético. Esta iniciativa teve como objectivo essencial congregar profissionais de várias empresas relevantes no sector energético e investigadores, cujo trabalho tem demonstrado a mais-valia da Investigação Operacional no tratamento de muitos problemas que surgem neste sector, tendo ainda em conta os impactos das decisões no sector energético sobre a economia e o ambiente.

Este encontro registou uma elevada participação de docentes e investigadores, de alunos e de quadros de empresas, possibilitando uma importante partilha de experiências e uma oportunidade para debater abordagens metodológicas para vários problemas, desde os de natureza operacional aos de carácter estratégico, onde os modelos e métodos de Investigação Operacional são reconhecidos como valiosos utensílios nos processos de controlo, de gestão e de apoio à tomada de decisão.

Na sessão de abertura o Prof. Domingos Cardoso, Presidente da Comissão Directiva da APDIO, deu as boas vindas aos participantes e salientou o interesse da APDIO em fomentar a colaboração com empresas e entidades em sectores de actividade onde as abordagens de IO possam dar um contributo positivo para a tomada de melhores decisões, com impacto na economia e no bem-estar da sociedade. O Prof. Carlos Henggeler Antunes, vice-presidente da APDIO e organizador do encontro, fez uma breve introdução ao tema e programa do encontro, enfatizando a importância das empresas presentes na economia nacional.

O encontro teve início com a apresentação do Eng<sup>o</sup>. António Quintino (Galp), sugestivamente intitulada "Galp Energia - como otimizar o negóc.I.O.", na qual abordou vários segmentos de negócio na Galp, incluindo a refinação e distribuição, a exploração e produção, e a venda de gás e electricidade. Nas palavras do Eng<sup>o</sup>. António Quintino, os momentos de crise são um terreno favorável para a IO, dado que "a diminuição de volumes e margens obriga a optimizações nunca antes pensadas", aconselhando que a comunidade de IO aposte em soluções desenvolvidas à medida onde os grandes fornecedores e as consultoras generalistas não se especializam.

A Dr<sup>a</sup>. Natália Tavares e a Eng<sup>a</sup>. Helena Azevedo (REN – Redes Energéticas Nacionais, SA) apresentaram uma panorâmica das aplicações de IO na REN, salientando os novos desafios associados à integração de energias renováveis intermitentes, à maximização da utilização dos corredores existentes, à utilização de novas tecnologias, e ao desenvolvimento do mercado interno de electricidade. Foram descritos vários modelos de optimização desenvolvidos na REN, também em cooperação com universidades e unidades de I&D, como o modelo "Valoragua" (para a optimização da operação de um sistema misto – termo-eléctrico, hidroeléctrico e produção distribuída), o modelo Reservas (destinado a tratar a integração de elevados níveis de produção renovável, as necessidades de reserva operacional, e o impacto na segurança de abastecimento), e o modelo EMCAS - *Electricity Market Complex Adaptive System* (que permite simular os comportamentos dos agentes intervenientes no sistema e a forma como reagem às alterações das condições económicas, financeiras, ambientais e regulatórias em que operam).

O Prof. Manuel Matos (Universidade do Porto e INESC TEC) apresentou uma visão geral do trabalho de aplicação de técnicas de IO desenvolvidos no INESC TEC (Porto), incluindo alguns projectos em colaboração com empresas do sector. Foram mencionados problemas de escalonamento da produção com despacho económico, reconfiguração de redes, fluxo de potência óptimo em redes de distribuição, estimativa de perdas, definição de critérios para prioridade de intervenção em redes, previsão eólica, gestão do carregamento de veículos eléctricos, incluindo a respectiva agregação para participação no mercado de reserva secundária, gestão eólico-hídrico-térmica, análise de cobertura e adequação da reserva operacional, e ainda modelos de *benchmarking* de companhias distribuidoras de electricidade, usando técnicas de *Data Envelopment Analysis* (DEA).

A Dr<sup>a</sup>. Júlia Boucinha (EDP) apresentou o trabalho desenvolvido na EDP sobre análises de eficiência e produtividade, com aplicações às redes de distribuição de electricidade em Portugal. Estas abordagens são motivadas pela necessidade de proporcionar processos de decisão mais informados à gestão, para providenciar um serviço de melhor qualidade aos

clientes, e para responder a incentivos regulatórios. Estas análises são efectuadas às diversas actividades da empresa, incluindo a manutenção e reparação de avarias, a leitura de contadores, os serviços fornecidos aos clientes, a comparação entre as diferentes áreas de rede da EDP Distribuição, e ainda comparações internacionais entre distribuidoras de electricidade. Os métodos usados são de natureza não paramétrica (DEA) e paramétrica *Stochastic Frontier Analysis* (SFA).

O Prof. Álvaro Gomes (Universidade de Coimbra e INESC Coimbra) apresentou abordagens baseadas em algoritmos evolutivos multiobjectivo para a identificação de acções de controlo de cargas para a gestão dos consumos de electricidade. Trata-se de problemas de natureza combinatoria, onde é necessário estabelecer padrões *on/off* a aplicar a grupos de cargas (usos finais) de modo a minimizar a ponta do diagrama de cargas a diversos níveis de agregação, minimizar o desconforto imposto aos utilizadores pela alteração do regular funcionamento das cargas, e maximizar os lucros (por exemplo, do ponto de vista de um retalhista de electricidade).

O Prof. Luís Neves (Instituto Politécnico de Leiria e INESC Coimbra) apresentou o papel dos modelos e métodos de IO na promoção da eficiência no consumo de electricidade, em particular utilizando métodos de análise multicritério, e mencionou modelos de avaliação do mérito de medidas de eficiência energética usados em diferentes países, entre os quais a experiência portuguesa do Plano de Promoção da Eficiência no Consumo (PPEC) da Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos (ERSE).

Todas as apresentações suscitaram um debate vivo entre as cerca de quatro dezenas de participantes.

Este encontro organizado pela APDIO teve o apoio da Iniciativa Energia para a Sustentabilidade da Universidade de Coimbra e do INESC Coimbra.

# A IO NA LOGÍSTICA E CADEIA DE ABASTECIMENTO

Ana Paula Barbosa Póvoa,  
Departamento de Engenharia e Gestão /  
Centro de Estudos de Gestão do IST  
Universidade de Lisboa

## Introdução

A Logística pode ser vista como a função organizacional que garante o transporte, armazenamento e manuseamento de materiais à medida que estes se movimentam desde os pontos de extração, matéria-prima, até aos pontos de venda ou consumo, produtos finais. Tomando como referência uma das principais organizações profissionais na área, o “Council of Supply Chain Management Professional (CSCMP)”, este define Logística como “o processo de planeamento, implementação e controle de procedimentos que garantem um eficiente e eficaz transporte e armazenamento de bens incluindo serviços e informações relacionadas, desde o ponto de origem até o ponto de consumo a fim de garantir os requisitos do cliente”. Por outro lado, ao olhar para o processo de gestão associado à Logística o CSCMP acrescenta que a Gestão Logística é “a parte da cadeia de abastecimento responsável por planejar, implementar, e controlar” os processos referidos.

Faz-se assim a ligação da Logística à Cadeia de Abastecimento aparecendo a Logística como parte integrante da Cadeia de Abastecimento, sendo esta última mais abrangente dado que envolve não apenas as atividades logísticas de transporte, armazenamento e manuseamento mas ainda todas as atividades de transformação da matéria-prima em produtos finais. Um foco particular é dado à coordenação e colaboração entre as diferentes entidades da cadeia, desde os fornecedores aos clientes finais, aparecendo a Gestão da Cadeia de Abastecimento como uma função integradora com a responsabilidade de ligar as diferentes atividades dos parceiros da cadeia de forma a produzir um sistema coeso e de elevado desempenho.

As Cadeias de Abastecimento como conceito aparecem no início de 1980 [7], todavia só a partir de 1990 estes sistemas começam a ser mais claramente reconhecidos como importantes nas organizações. Hoje em dia, as cadeias de abastecimento são tidas como sistemas fundamentais na estrutura de qualquer organização que pretenda ser competitiva no mercado global.

Para atingir este objetivo a cadeia de abastecimento precisa de ferramentas de apoio que permitam suportar o processo de tomada de decisão – estratégico, tático e operacional. É neste contexto que a Investigação Operacional (IO) aparece com um papel fundamental. As metodologias e técnicas de IO permitirão a estruturação, modelação e resolução dos diferentes tipos de problemas que caracterizam as cadeias de abastecimento e o seu processo de decisão.

## O Processo de Decisão na Cadeia de Abastecimento

O processo de decisão nas cadeias de abastecimento pode ser estruturado ao longo de três níveis (Figura 1):

planeamento estratégico; tático e operacional. Nos dois primeiros níveis as decisões baseiam-se numa análise holística enquanto que no terceiro nível (o operacional) o detalhe da operação é o aspecto fundamental a considerar. Diferentes tipos de problemas são abordados com escalas temporais distintas e envolvendo níveis de incerteza diversos.

A complexidade inerente aos problemas que caracterizam este processo de decisão introduz dificuldade acrescida na resolução dos problemas e exige, tal como foi reconhecido acima, a utilização de sistemas de apoio à decisão. Tais sistemas devem garantir a ligação eficiente e eficaz entre informação transacional e analítica, devendo a última ser tratada recorrendo a técnicas de IO.

Todavia o sucesso destes sistemas, em particular no que respeita à gestão da informação analítica, depende de muitos fatores. Um dos aspetos importantes prende-se com a clara definição das medidas de desempenho a utilizar. Tipicamente a cadeia de abastecimento implica a maximização de lucros ou a redução de custos, contudo nem sempre este é o caso e importa pois definir claramente qual o objetivo a atingir. Frequentemente diferentes objetivos estão em jogo e nestes casos a necessidade de estabelecer equilíbrios aparece como o problema a considerar na tomada de decisão. A utilização de metodologias adequadas de suporte a esta decisão como sejam a otimização multi-objetivo ou técnicas de análise de decisão impõe-se e poderá apoiar a decisão.

embebido do tipo de problema a tratar, como sejam a simulação ou a otimização? Esta escolha é função do problema em análise e exige uma prévia avaliação do nível de profundidade necessário bem como dos componentes chave do problema a tratar.

Acresce que o ambiente cada vez mais incerto no qual as cadeias de abastecimento operam cria a necessidade de incorporar a presença de incerteza. Diversas fontes de incerteza podem existir sendo as mais comuns as ligadas à procura, tempos de espera, níveis de produção e disponibilidade de recursos. Importa pois saber como lidar com esta complexidade acrescida. Mais uma vez também aqui a IO pode desempenhar um papel importante através da utilização de métodos diversos para a modelação da incerteza, desde uma representação extensiva até à teoria de controlo ou à programação dinâmica, entre outros.

Olhando com mais algum detalhe para o processo de decisão, os problemas a estudar são diversos e a aplicação das técnicas de IO pode ser inúmera.

## Planeamento Estratégico

Começando com o planeamento estratégico, este encontra-se associado a decisões estratégicas que tipicamente perduram por longos períodos de tempo e envolvem níveis de investimento elevados. As decisões não estão sujeitas a alterações frequentes mas envolvem níveis de incerteza elevados causados quer pela incerteza do mercado, em que atuam, quer pela evolução



Figura 1: Níveis de decisão na cadeia de abastecimento (CA).

Para além da(s) medida(s) de desempenho importa ainda saber lidar com a informação sendo fundamental perceber como é que esta deve ser analisada e apresentada, ou seja qual o método mais adequado para tratar o número elevado de dados que caracterizam as cadeias de abastecimento. Deve esta informação ser tratada através de um conjunto de ferramentas analíticas de aplicação genérica, como sejam métodos estatísticos ou de “data mining”, ou deverá recorrer-se a ferramentas que possuem algum conhecimento

das organizações com as quais estabelecem relações. Desta forma, as decisões estratégicas devem ser tomadas considerando diferentes cenários com probabilidade de ocorrência, introduzindo desta forma flexibilidade e construindo soluções resilientes que respondam adequadamente a condições futuras.

As seguintes questões são frequentemente colocadas neste nível de decisão: Que estrutura definir para a cadeia de abastecimento, tendo em conta as tendências de

mercado e os objetivos da organização? Quais as capacidades envolvidas e como afetar os recursos? Quais os processos a operacionalizar em cada nível e/ou entidade da cadeia? Qual o nível de externalidades a utilizar?

A resposta a estas questões implica uma ligação ao nível de decisão tático pois para decidir estrategicamente importa saber como os recursos envolvidos serão utilizados de forma agregada (Figura 2). As ferramentas de IO permitem esta integração e fornecem os meios para modelar e resolver estes problemas.

Problemas de IO como os de localização de instalações, otimização das redes, planeamento de capacidades, afetação de recursos, previsão de procura e seleção de fornecedores são alguns dos muitos que caracterizam este nível de decisão. Métodos de otimização, heurísticas, meta-heurísticas, previsão e análise de decisão, entre outros podem ser explorados na resolução destes problemas e a sua aplicação tem sido mais que comprovada ao longo de anos [5,6,10].



Figura 2: Projeto da rede – ligação projeto da cadeia e seu planeamento.

### Planeamento Tático

Descendo no nível de planeamento, as decisões táticas estendem-se por períodos mais curtos, quando comparados com os das decisões estratégicas: tipicamente de um mês a um ano, dependendo do tipo de cadeia de abastecimento. O nível de incerteza é mais reduzido face ao nível anterior, estando todavia presente quer a nível da procura quer a nível dos recursos e fornecimento.

A rede logística definida no nível estratégico é agora fixada e as decisões recaem sobre como planear a rede, tendo em conta as restrições existentes, de forma a maximizar um ou mais objetivos. As previsões aparecem como uma base para o planeamento e as decisões a tomar são diversas. Importa responder a questões como sejam: A partir de que localização fornecer os diferentes mercados? Qual a política de inventário a ser seguida? Onde e quando produzir certos produtos? Qual o nível de subcontratação da produção a utilizar? Quais as políticas de produção e distribuição a seguir?

Respondendo a estas perguntas definem-se os planos agregados e a partir destes os planos diretores de produção e de distribuição (Figura 3). Como objetivo final pretende-se otimizar o desempenho da cadeia de abastecimento, explorando a flexibilidade disponível na rede instalada e otimizando os recursos associados.

Também aqui problemas de IO estão presentes, como seja o planeamento da produção e a afetação de recursos, o planeamento da distribuição e a previsão de procura, entre outros. Mais uma vez métodos de otimização, heurísticas,

meta-heurísticas e previsão podem ser explorados na resolução destes problemas e a sua aplicação tem também sido mais que comprovada ao longo de anos [2,3].

### Planeamento Operacional

Finalmente, a nível operacional os períodos envolvidos são muito menores: variam desde a hora e dia até à semana ou mês. Para além de se considerar uma rede logística conhecida, estão também definidas as políticas de planeamento globais a nível de produção, distribuição e inventário. O objetivo é garantir a satisfação do cliente da melhor forma possível e ao menor custo. O nível de incerteza é o menor dos níveis referidos e como objetivo final pretende-se otimizar os recursos tendo em conta as restrições estruturais e de planeamento que existem, de forma a minimizar custos e garantir níveis de serviço.

A produção das encomendas tem de ser escalonada e os produtos finais são armazenados e expedidos tendo em conta as políticas de inventário e o tempo de satisfação dos clientes. As decisões a tomar estão relacionadas com o escalonamento da produção, escalonamento de mão-de-obra, níveis de inventário, consolidação de encomendas e definição de rotas de distribuição, problemas bem estudados em IO [1,4,12].



Figura 3: Níveis de decisão táticos e operacionais.

Tal como foi referido no caso do planeamento estratégico também os níveis tático e operacional devem estar ligados e a partilha de informação é aqui fundamental. Esta permite a correção de decisões tomadas de forma menos adequada. Mais uma vez as técnicas de IO poderão facilitar esta integração e problemas de planeamento agregado poderão ser resolvidos de forma mais eficazmente e eficazmente ser acoplados a decisões operacionais de

escalonamento e distribuição (Figura 3).

### Os Desafios nas Cadeias de Abastecimento

Num recente estudo da *PriceWaterhouseCoopers* [9] sobre o futuro nas cadeias de abastecimento, os líderes das maiores e mais importantes cadeias de abastecimento mundiais identificam 12 principais desafios:

Gerir adequadamente o lucro da cadeia; Reduzir custos; Garantir os requisitos cada vez mais exigentes dos clientes; Preparar a cadeia para variações de volume; Responder às pressões competitivas; Adquirir e desenvolver talentos nas cadeias de abastecimento; Garantir o desempenho do fornecimento e dos fornecedores; Criar transparência e simplicidade na cadeia; Responder ao crescente aumento dos mercados emergentes; Gerir risco e segurança; Criar cadeias sustentáveis; Responder às constantes alterações de regulamentação.

Dentro destes desafios, alguns são considerados como recorrentes (ex. gerir o lucro e minimizar custos) mas três dos doze identificados são reconhecidos como aqueles que deverão merecer um maior investimento por parte dos gestores e cuja importância irá aumentar no futuro. São eles a necessidade de criar transparência e simplicidade; a gestão do risco e segurança; e a criação de cadeias sustentáveis.

Importa neste contexto identificar como a IO poderá continuar a apoiar a tomada de decisão. A necessidade de modelar de forma adequada o risco e a sustentabilidade são dois desafios a explorar, os quais têm recentemente sido alvo de investigação por parte da comunidade científica [8,11]. Por outro lado, a transparência e simplificação podem também ser potenciadas pela IO.

Em conclusão, a IO tem um papel fundamental no apoio à tomada de decisão nas cadeias de abastecimento e pode ajudar a tornar estas decisões simples mas não todavia simplistas, potenciando desta forma a construção de simplificação e a transparência no processo de decisão (*"Make everything as simple as possible, but not simpler"*, Einstein).

### Referências

- [1] Almada-Lobo, B., Klabjan, D., Carravilla, M. A., Oliveira, J. F., Multiple machine continuous setup lotsizing with sequence-dependent setups, *Computational Optimization and Applications*, 47, 529-552, 2010.
- [2] Amaro, A. C. S., Barbosa-Póvoa, A. P. F. D., Planning and scheduling of industrial supply chains with reverse flows: A real pharmaceutical case-study, *Computers & Chemical Engineering*, 32, 2606-2625, 2008.
- [3] Amorim, P., Günther, H. O., Almada-Lobo B., Multi-objective integrated production and distribution planning of perishable products, *International Journal of Production Economics*, 138, 89-101, 2012.
- [4] Baldacci R., Mingozzi, A., Roberti, R., Recent exact algorithms for solving the vehicle routing problem under capacity and time window constraints, *European Journal of Operational Research*, 218, 1-6, 2012.
- [5] Goetschalckx, M., Vidal, C. J., Dogan, K., Modeling and design of global logistics systems: A review of integrated strategic and tactical models and design algorithms, *European Journal of Operational Research*, 143, 1-18, 2002.
- [6] Melo, M. T., Nickel, S., Saldanha-da-Gama, F., Facility location and supply chain management – A review, *European Journal of Operational Research*, 196, 401-412, 2009.
- [7] Oliver, R. K., Webber M. D., Supply chain management: logistics catches up with the strategy, in Christopher, M. (ed.), *Logistics: The Strategic Issues*, Chapman & Hall, London, 63-75, 1982.
- [8] Pfohl, H.-C., Köhler, H., Thomas, D., State of the art in supply chain risk management research: empirical and conceptual findings and a roadmap for the implementation in practice, *Logistics Research*, 2, 33-44, 2010.
- [9] PwC, *Global Supply Chain Survey 2013 - Next Generation Supply Chains: Efficient, fast and tailored*, PricewaterhouseCoopers LLP, 2013.
- [10] Salema, M. I. G., Barbosa-Póvoa, A. P., Novais, A. Q., Simultaneous design and planning of supply chains with reverse flows: a generic modelling framework, *European Journal of Operational Research*, 203, 336-349, 2010.
- [11] Seuring, S., A review of modeling approaches for sustainable supply chain management, *Decision Support Systems*, 54, 1513-1520, 2013.
- [12] Stefansson, H., Sigmarsson, S., Jensson, P., Shah, N. Discrete and continuous time representations and mathematical models for large production scheduling problems: A case study from the pharmaceutical industry, *European Journal of Operational Research*, 215, 383-392, 2011.



# OPTIMIZAÇÃO INTEGRADA EM CADEIAS DE ABASTECIMENTO: UM DESAFIO DA IO NOS SISTEMAS LOGÍSTICOS

Cláudio Alves,  
Universidade do Minho

## 1. Motivação

Um dos grandes desafios de Investigação Operacional (IO) na gestão das cadeias de abastecimento reside no desenvolvimento e implementação de ferramentas computacionais de optimização (modelos, métodos e *software*) para problemas de planeamento integrado ao nível operacional. Os contributos que a disciplina tem vindo a dar na resolução de problemas “isolados” é do conhecimento geral. Escalonamento de operações, encaminhamento de veículos, corte e empacotamento são apenas alguns exemplos clássicos de problemas para os quais os especialistas de IO contribuíram decisivamente. Os progressos foram reais, mas com eles também vinha frequentemente a crítica segundo a qual os problemas tratados assumiam demasiadas simplificações. Talvez por isso (ou não), foi aumentando o esforço em resolver problemas mais “próximos da realidade”. Essa aproximação passou por considerar restrições ou condições que melhor traduziam as situações vividas na prática. Passou a usar-se o adjectivo *rich* para distinguir alguns destes problemas (os *rich vehicle routing problems*, em particular).

Uma forma de se “aproximar da realidade” consiste em não esquecer a forte inter-dependência que existe entre as várias funções de uma organização. A perspectiva passa a ser a da integração dos problemas. O objectivo é evitar cair em soluções que são globalmente sub-óptimas, considerando explicitamente as implicações que as decisões podem ter na resolução de problemas a jusante. As empresas enfrentam pressões constantes para reduzir os seus custos e melhorar o seu serviço. Em consequência, muitas delas são forçadas a manter baixos níveis de inventários ao longo da cadeia de abastecimento, a aumentar a sua capacidade de resposta, e globalmente a melhorar o seu desempenho operacional. Para atingir esses objectivos, é fundamental que o planeamento de operações seja feito de forma integrada e coordenada ao longo das diferentes funções das empresas [4,15].

Neste artigo, revemos algumas contribuições de IO na resolução de problemas desta natureza. Para as ilustrar, usaremos três exemplos concretos que ocorrem na gestão das cadeias de abastecimento e que envolvem operações de distribuição.

## 2. Contribuições

A maioria das contribuições de optimização integrada ao nível operacional que estão descritas na literatura são relativamente recentes. Embora a variedade de problemas abordados seja grande, muitos destes problemas baseiam-se em pressupostos que simplificam a sua resolução. Por exemplo, para o escalonamento integrado de operações de produção e de distribuição, a maior parte das abordagens propostas na literatura assume que o processamento é realizado numa única máquina e que as ordens têm todas tamanhos iguais [16, 21, 3]. Em alguns casos, estes pressupostos conduzem a problemas que podem ser resolvidos em tempo polinomial. Alguns autores descrevem algoritmos exactos para esses casos especiais, como por exemplo [21] e [7].

A maioria dos métodos desenvolvidos para problemas de optimização integrada são baseados em abordagens heurísticas puras (não baseadas em modelos) [28,12,5,29]. A título de exemplo, Wang *et al.* [28] descrevem um conjunto de regras de expedição e heurísticas para o escalonamento coordenado de operações de tratamento e distribuição de correio. Em [12], Geismar *et al.* descrevem uma heurística em duas fases baseada em algoritmos genéticos e meméticos para a produção e entrega de produtos com uma vida útil curta. Os autores consideram o caso em que os produtos devem ser entregues por um único veículo, de modo a minimizar o tempo necessário para entregar todas as encomendas. Ainda para o problema do escalonamento da produção coordenado com operações de distribuição, Chang e Lee em [5] propõem três heurísticas para diferentes cenários com uma ou duas máquinas em paralelo, mas restrito a um máximo de dois clientes.

Dada a complexidade dos problemas de optimização integrada (os problemas “isolados” já são por si só complexos), não é de estranhar o número reduzido de métodos de resolução exacta propostos na literatura [3,30]. Muitos dos métodos descritos dependem de hipóteses simplificadoras, como é o caso da sequência fixa de clientes, ou da entrega individual e imediata das encomendas. Para o problema de encaminhamento de veículos com restrições reais de carregamento (diferentes das restrições tradicionais de peso ou volume), a única abordagem exacta foi proposta por Iori *et al.* [18] para um caso em que as cargas não podem ser empilhadas. O modelo descrito por estes autores tem um número exponencial de restrições, e é resolvido através de um método de partição e avaliação com cortes. Todas as outras abordagens descritas na literatura para este tipo de problemas baseiam-se em métodos heurísticos [8,17,26]. Voltaremos a este problema mais abaixo.

Os problemas de distribuição estão no centro das tentativas de integração dos problemas nas cadeias de abastecimento. Em [6], Chen analisa a relação entre o escalonamento da produção e as operações de distribuição aos clientes a jusante. O autor discute os diferentes modelos que foram propostos na literatura para versões combinadas destes problemas, e propõe também um esquema de representação baseado em cinco características gerais: a configuração das máquinas (máquina única, máquinas paralelas, *e.g.*), as restrições associadas às encomendas (datas de entrega comuns, janelas de entrega, *e.g.*), as características das entregas (veículo único, entregas em lote directamente ao cliente, *e.g.*), o número de clientes, e o tipo de função objectivo que é considerada. Em [27], Schmid *et al.* passam em revista algumas contribuições para a resolução de problemas de distribuição (encaminhamento de veículos) combinados com problemas de dimensionamento de lotes, de escalonamento da produção, de gestão de armazéns, e de gestão de inventários. Para vários casos específicos, os autores apresentam modelos de Programação Inteira Mista.

Num registo um pouco diferente, alguns autores descreveram aplicações bem sucedidas de abordagens baseadas em Programação Linear e Programação Inteira Mista para problemas de optimização em tempo real com algumas características de integração. Em [4], Bixby *et al.* descrevem como geraram de forma dinâmica e em tempo real os planos de escalonamento de cinco unidades de processamento de carnes tendo em conta os pedidos actuais e as previsões de procura para o futuro. A abordagem destes autores permitiu coordenar os processos de vendas com o escalonamento de operações de produção, e resultou numa poupança de mais de 10 milhões de dólares por ano e numa diminuição significativa dos níveis de inventário. Durbin e Hoffman em [10] descrevem o uso de ferramentas de apoio à decisão baseadas em Programação Inteira Mista para resolver um problema de gestão da produção de cimento coordenado com a distribuição desse produto. Os modelos que foram construídos são resolvidos a cada cinco minutos para responder rapidamente às mudanças associadas à imprevisibilidade dos pedidos dos clientes. A poupança associada ao uso destas ferramentas foi estimada em cerca de 750 mil dólares por ano.

A optimização integrada pode resultar em economias significativas para as empresas através da redução dos níveis de inventário nas cadeias de abastecimento, do aumento da eficiência na utilização dos recursos, e do aumento da capacidade de resposta que se traduz por sua vez em melhores níveis de serviço. A optimização integrada levanta também grandes desafios. A integração conduz a problemas de optimização de grande dimensão, uma vez que resultam tipicamente da combinação de outros problemas que já são por natureza muito complexos. A integração completa dos problemas requer assim o desenvolvimento de modelos computacionais de optimização e métodos que sejam capazes de lidar com a dimensão e complexidade desses problemas.

### 3. Exemplos

#### 3.1 Gestão de inventários e distribuição

Nas cadeias de abastecimento, as decisões ligadas à gestão de inventários dos diferentes actores dessas cadeias condicionam naturalmente as operações de distribuição a montante. Apesar disso, os modelos tradicionais de gestão de inventários tendem a desprezar os custos ligados à execução das rotas, considerando-os muitas vezes como um custo fixo. Por seu lado, o tratamento dado aos problemas de distribuição (ou encaminhamento de veículos) assenta muitas vezes no pressuposto que o problema só acontece após algum (ou alguns) actor(es) na cadeia de abastecimento terem estabelecido as quantidades a entregar. Dado um conjunto de encomendas a satisfazer, o problema de distribuição reduz-se então em determinar as rotas que os veículos deverão efectuar para entregar todas as encomendas dos clientes.

A versão que considera explicitamente a interacção entre estes dois problemas é designada por problema combinado de gestão de inventários e distribuição

(*inventory routing problem*). A ideia consiste em ligar a gestão de inventários dos actores (clientes) da cadeia de abastecimento ao planeamento de rotas ao nível dos fornecedores a montante seguindo o princípio de “inventário gerido pelo fornecedor” (*vendor managed inventory*). A reposição de inventário é deixada a cargo dos actores a montante, assim como a correspondente gestão das rotas que irão garantir essa reposição. Várias configurações são possíveis, tipicamente em horizontes de planeamento de médio e longo prazo. Os clientes podem ser fábricas ou unidades de retalho, por exemplo, e poderão existir vários ou apenas um. A *survey* de Andersson *et al.* [2] analisa em detalhe as diferentes configurações que foram exploradas na literatura para os casos do transporte terrestre e marítimo.

Várias técnicas de resolução foram exploradas para este tipo de problemas. Entre elas incluem-se por exemplo abordagens baseadas em geração diferida de colunas, partição e avaliação, partição e avaliação com cortes, e em métodos heurísticos como os algoritmos genéticos e a pesquisa tabu. Uma contribuição recente baseada em pesquisa com vizinhanças variáveis para o caso multi-produto e um cliente único foi descrita em [25].

#### 3.2 Carregamento de veículos e distribuição

A maior parte das abordagens existentes para a resolução de problemas de encaminhamento consideram que a capacidade dos veículos é redutível a um valor único associado ao peso ou ao volume máximo da carga que pode ser transportada. Na prática, a dimensão das cargas a transportar condiciona muitas vezes o carregamento dos veículos (em particular quando se aproxima da capacidade máxima do veículo): um carregamento cujo peso (por exemplo) é inferior à capacidade do veículo pode não caber devido às suas dimensões. Um aspecto a ter em conta quando se considera explicitamente a dimensão das cargas é o facto de não ser desejável efectuar movimentos de carga à medida que se vão entregando as encomendas aos clientes: para retirar a carga do cliente que está a ser servido, não deve ser preciso movimentar as outras cargas que estão no veículo. Esse aspecto obriga a considerar o sequenciamento dos clientes nas rotas ao carregar o veículo. Nestes problemas, é relevante a forma como as cargas são introduzidas nos veículos. Algumas das alternativas estudadas consideram carregamentos efectuados pela traseira do veículo ou por um dos seus lados.

Os problemas de carregamento de veículos e distribuição têm vindo a ser estudados na literatura quer para o caso de cargas não empilháveis, quer para o caso de cargas a 3-dimensões empilháveis. Problemas a 3-dimensões com cargas não empilháveis reduzem-se naturalmente a problemas com objectos a 2-dimensões.

Para o problema a 2-dimensões, foram desenvolvidas abordagens de pesquisa tabu por Gendreau *et al.* [14], Zachariadis *et al.* [31] e Leung *et al.* [20]. Em [14], os autores consideram duas versões do problema: uma sem a restrição de sequência (as cargas de outros clientes podem ser movimentados nos actos de entrega), e outra

com essa restrição. Definem um procedimento onde é permitido visitar soluções que não são válidas porque violam as restrições físicas de carregamento, e descrevem métodos para verificar se a carga associada aos clientes de um circuito pode ou não ser colocada no veículo. Os movimentos que usam nas subrotinas de pesquisa local consistem simplesmente em remover um cliente de um caminho e colocá-lo noutra. Recorrem ainda a estratégias de intensificação a intervalos regulares e quando é encontrada uma solução que possa ser melhor que a solução incumbente. Os autores testaram a sua abordagem em instâncias com um máximo de 255 clientes. Para as instâncias mais pequenas, verificaram que atingiam a solução óptima num número significativo de ocasiões (57%). Sujeito a um conjunto maior de instâncias, a abordagem mostrou ser capaz de gerar soluções válidas para o problema de forma robusta. A abordagem de Zachariadis *et al.* [31] explora mecanismos de diversificação ao nível da pesquisa tabu. Os autores recorrem a três tipos de movimentos clássicos na pesquisa local (remoção de um cliente de uma rota e a reafecção a outra, troca de clientes entre rotas, divisão e reafecção de rotas), e a um conjunto de heurísticas de empacotamento para verificar se as cargas dos clientes num caminho podem ou não ser colocadas num veículo. Para acelerar a convergência do método, limitam as vizinhanças exploradas e registam informação sobre configurações de carregamento já exploradas. No final, a abordagem de Zachariadis *et al.* [31] consegue obter melhores resultados do que a de Gendreau *et al.* [14] para muitas instâncias do problema. As contribuições de Leung *et al.* [20] surgem na sequência destes trabalhos. A abordagem explorada por estes autores continua a assentar em pesquisa tabu combinada agora com pesquisa local guiada. Ainda no campo das meta-heurísticas, foram explorados métodos baseados em colónias de formigas por Fuellerer *et al.* [11], e outros que recorrem a GRASP (*Greedy Randomized Adaptive Search Procedure*) e pesquisa local evolucionária para o problema sem restrições de sequência [9].

A única abordagem exacta explorada na literatura deve-se a Iori *et al.* [18]. O algoritmo proposto é um procedimento de partição e avaliação com cortes associado a um modelo de Programação Inteira. Em cada nodo da árvore de pesquisa, são resolvidas relaxações do modelo que são reforçadas usando cortes para excluir rotas inválidas. O critério usado para considerar uma rota inválida é semelhante ao que já foi referido para as meta-heurísticas discutidas acima, i.e. a possibilidade ou não de acomodar no veículo todas as cargas dos clientes visitados na rota. Numa janela de uma hora, o algoritmo mostrou ser capaz de resolver de forma robusta instâncias até 25 clientes. Alargando essa janela para 24 horas, o tamanho máximo das instâncias resolvidas passou para 35 clientes e 100 itens de carga.

A primeira tentativa conhecida de resolução de problemas a 3-dimensões data de 2006 [13]. Sem surpresa, todos os métodos explorados até ao momento são meta-heurísticas. O maior número consiste em

procedimentos de pesquisa tabu, mas existem também registos de experiências com métodos de colónia de formigas, de pesquisa por arrefecimento simulado e algoritmos genéticos.

### 3.3 Localização, distribuição e escalonamento de rotas

O problema da localização de instalações e distribuição não é um problema novo, ao ponto de já terem sido propostas várias *surveys*, algumas ainda nos anos 80 [19]. Na sua versão standard, o problema já combina dois subproblemas distintos mas interligados: o da localização de armazéns, fábricas, ou outro tipo de unidades, com o problema do encaminhamento de veículos. Recentemente, uma nova versão deste tipo de problemas começou a ser estudada. O problema em causa combina a localização de instalações com o encaminhamento de veículos e a afectação (ou o escalonamento) de rotas, e ocorre em cenários em que um veículo pode efectuar mais do que uma rota no horizonte de planeamento. Nesses casos, é necessário também determinar o conjunto das rotas que cada veículo deve efectuar. O problema tem aplicação por exemplo no

quadro do transporte de produtos perecíveis, em que a duração dos trajectos é curta, permitindo a um veículo efectuar mais do que uma saída por dia.

O problema foi estudado originalmente por Lin, Chow e Chen em [22], e mais tarde por Lin e Kwok em [23]. Em [23], estes autores exploram uma função objectivo diferente (da minimização dos custos de transporte e abertura das instalações) através da qual procuram equilibrar a distribuição das cargas e dos tempos de trabalho pelos veículos. As abordagens propostas são heurísticas baseadas em pesquisa tabu e em pesquisa por arrefecimento simulado.

Foi também desenvolvido um algoritmo exacto para este problema por Akca *et al.* [1]. O algoritmo assenta num modelo de Programação Inteira em que as variáveis representam afectações válidas de rotas a veículos. O modelo é resolvido por geração diferida de colunas, combinada com o método de partição e avaliação e com a introdução de inequações para reforçar a qualidade da sua relaxação linear. Os autores apresentam resultados para instâncias até 40 clientes e 5

instalações com tempos totais de computação que atingem os 8 minutos.

Uma abordagem recente para este problema baseada em pesquisa com vizinhanças variáveis foi descrita por Macedo *et al.* em [24]. O método consiste em explorar seis tipos de vizinhanças distintas definidas a partir da recolocação de um cliente noutra rota, da troca de dois clientes na mesma rota ou entre duas rotas, da reafectação de uma rota simples a outro veículo, da troca de rotas entre veículos, da abertura de um depósito fechado e afectação do serviço de um veículo a esse depósito, e da abertura de um depósito fechado e correspondente reafectação de todas as rotas de outro depósito. Ao longo da resolução, são toleradas soluções inválidas porque excedem a capacidade dos veículos ou a capacidade dos depósitos. Essas soluções são penalizadas na função de avaliação. Os testes realizados nas instâncias de Akca *et al.* [1] com um tempo máximo de 200 segundos mostraram que o algoritmo era capaz de gerar soluções com desvios em relação ao óptimo inferiores a 14%.

## Referências

- [1] Akca, Z., Berger, R. T., Ralphs, T. K., *Modeling and solving location routing and scheduling problems*, Relatório técnico, COR@L Laboratory, Lehigh University, 2008.
- [2] Andersson, H., Hoff, A., Christiansen, M., Hasle, G., Lokketangen, A., *Industrial aspects and literature survey: Combined inventory management and routing*, *Computers & Operations Research*, 37, 1515-1536, 2010.
- [3] Armstrong, R., Gao, S., Lei, L., *A zero-inventory production and distribution problem with a fixed customer sequence*, *Annals of Operations Research*, 159, 395-414, 2008.
- [4] Bixby, A., Downs B., Self, M., *A scheduling and capable-to-promise application for Swift & Company*, *Interfaces*, 36, 69-86, 2006.
- [5] Chang, Y. C., Lee, C., *Machine scheduling with job delivery coordination*, *European Journal of Operational Research*, 158, 470-487, 2004.
- [6] Chen, Z., *Integrated production and outbound distribution scheduling: review and extensions*, *Operations Research*, 58,130-148, 2010.
- [7] Chen, Z., Vairaktarakis, G., *Integrated scheduling of production and distribution operation*, *Management Science*, 51, 614-628, 2005.
- [8] Doerner, K. F., Fuellerer, G., Hartl, R. F., Gronalt, M., Iori, M., *Metaheuristics for vehicle routing problems with loading constraints*, *Networks*, 49, 294-307, 2007.
- [9] Duhamel, C., Lacomme, P., Quilliot, A., Toussaint, H., *A multi-start evolutionary local search for the two-dimensional loading capacitated vehicle routing problem*, *Computers & Operations Research*, 38, 617-640, 2011.
- [10] Durbin, M., Hoffman, K., *The dance of the thirty-ton trucks: dispatching and scheduling in a dynamic environment*, *Operations Research*, 56, 3-19, 2008.
- [11] Fuellerer, G., Doerner, K. F., Hartl, R. F., Iori, M., *Ant colony optimization for the two-dimensional loading vehicle routing problem*, *Computers & Operations Research*, 36, 655-673, 2009.
- [12] Geismar, H. N., Laporte, G., Lei, L., Sriskandarajah, C., *The integrated production and transportation scheduling problem for a product with a short lifespan*, *INFORMS Journal on Computing*, 20, 21-33, 2008.
- [13] Gendreau, M., Iori, M., Laporte, G., Martello, S., *A tabu search algorithm for a routing and container loading problem*, *Transportation Science*, 40, 342-350, 2006.
- [14] Gendreau, M., Iori, M., Laporte, G., Martello, S., *A tabu search heuristic for the vehicle routing problem with two-dimensional loading constraints*, *Networks*, 51, 4-18, 2008.
- [15] Grossmann, I. E., Furman, K. C., *Challenges in enterprise-wide optimization for the process industries*, W. Chaovalitwongse, K. C. Furman, P. M. Pardalos (eds.), *Optimization and Logistics Challenges in the Enterprise*, 3-59, Springer Optimization and its Applications, 2009.
- [16] Hall, N. G., Potts, C. N., *The coordination of scheduling and batch deliveries*, *Annals of Operations Research*, 135, 41-64, 2005.
- [17] Iori, M., Martello, S., *Routing problems with loading constraints*, *TOP*, 18, 4-27, 2010.
- [18] Iori, M., Salazar-González, J., Vigo, D., *An exact approach for the vehicle routing problem with two-dimensional loading constraints*, *Transportation Science*, 41, 253-264, 2007.
- [19] Laporte, G., *Location-routing problems*, B. L. Golden, A. A. Assad (eds.), *Vehicle Routing: Methods and Studies*, North-Holland, Amsterdam, 163-198, 1988.
- [20] Leung, S. C. H., Zhou, X., Zhang, D., Zheng, J., *Extended guided tabu search and a new packing algorithm for the two-dimensional loading vehicle routing problem*, *Computers & Operations Research*, 38, 205-215, 2011.
- [21] Li, C., Vairaktarakis, G., Lee, C., *Machine scheduling with deliveries to multiple customer locations*, *European Journal of Operational Research*, 164, 39-51, 2005.
- [22] Lin, C. K. Y., Chow, C. K., Chen, A., *A location-routing-loading problem for bill delivery services*, *Computers & Industrial Engineering*, 43, 5-25, 2002.
- [23] Lin, C. K. Y., Kwok, R. C. W., *Multi-objective metaheuristics for a location-routing problem with multiple use of vehicles on real data and simulated data*, *European Journal of Operational Research*, 175, 1833-1849, 2006.
- [24] Macedo R., Hanafi, S., Jarboui, B., Mladenovic, N., Alves, C., Valério de Carvalho, J., *Variable neighborhood search for the location routing problem with multiple routes*, *Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Systems Management*, Rabat, Marrocos, Outubro de 2013.
- [25] Mjirda, A., Jarboui, B., Macedo, R., Hanafi, S., Mladenovic, N., *A two phase variable neighborhood search for the multi-product inventory routing problem*, *Computers & Operations Research*, disponível online, 2013.
- [26] Moura, A., Oliveira, J. F., *An integrated approach to the vehicle routing and container loading problems*, *OR Spectrum*, 31, 775-800, 2009.
- [27] Schmid, V., Doerner, K. F., Laporte, G., *Rich routing problems arising in supply chain management*, *European Journal of Operational Research*, 224, 435-448, 2013.
- [28] Wang, Q., Batta, R., Szczerba, R. J., *Sequencing the processing of incoming mail to match an outbound truck delivery schedule*, *Computers & Operations Research*, 32, 1777-1791, 2005.
- [29] Wang, X., Cheng, T. C. E., *Machine scheduling with an availability constraint and job delivery coordination*, *Naval Research Logistics*, 54, 11-20, 2007.
- [30] Wang, H., Lee, C., *Production and transport logistics scheduling with two transport mode choices*, *Naval Research Logistics*, 52, 796-809, 2005.
- [31] Zachariadis, E. E., Tarantilis, C. D., Kiranoudis, C. T., *A guided tabu search for the vehicle routing problem with two-dimensional loading constraints*, *European Journal of Operational Research*, 195, 729-743, 2009.



## A UNIDADE DE ENGENHARIA DE SISTEMAS DE PRODUÇÃO (UESP) DO INESC TEC

Jorge Pinho de Sousa,  
Luís Carneiro,  
INESC TEC

A Unidade de Engenharia de Sistemas de Produção (UESP) do INESC TEC Laboratório Associado faz parte do INESC Porto, e tem como principal objectivo contribuir para a melhoria do desempenho das empresas, através de projetos de investigação e desenvolvimento, consultoria, transferência de tecnologia e formação.

As áreas estratégicas de investigação para os próximos anos, de natureza interdisciplinar e com forte ênfase nas aplicações, são as seguintes: 1) Gestão de Operações e Logística (planeamento e *scheduling*, *layouts* industriais e *vehicle routing*); 2) Apoio à Decisão e *Business Analytics* (simulação, metaheurísticas, análise multi-critério, *business intelligence* e *data-mining* em aplicações empresariais); 3) Redes Colaborativas (organização e gestão de processos colaborativos, novos modelos de negócio e gestão do conhecimento); 4) Sistemas de Informação Empresariais (SAD, integração de sistemas e inter-operabilidade).

A UESP tem cerca de 60 elementos, incluindo 14 doutorados e uma estrutura profissional de apoio aos projetos de investigação, desenvolvimento e consultoria de 15 colaboradores. Os restantes elementos são estudantes (de doutoramento ou de mestrado), estagiários ou bolsiros (com diversos tipos de financiamento).

Em termos científicos pode destacar-se, em 2012, a publicação de 14 artigos em revistas científicas internacionais e a conclusão de 16 teses de doutoramento ao longo dos últimos seis anos.

A UESP tem uma rede alargada de parceiros. Para além de institutos de investigação e universidades nacionais e internacionais, são de referir, por exemplo fornecedores de tecnologias como a Adira, CEI, Flowmat, Creative Systems, Primavera SW, PHC, Sistrade, Oficina de Soluções, Softi9 e a I68 ou, no que se refere a empresas industriais, a Kyaia, Frezite, Sonafi, Sonae, Volkswagen Auto-Europa, etc.

### Redes de cooperação empresarial

A Unidade desenvolveu, desde os finais dos anos 90, uma atividade importante nas redes de colaboração empresarial, área em que é reconhecida pela FCT como Laboratório Associado. Esta atividade inclui o desenvolvimento de novos modelos de negócio em rede,

ferramentas estratégicas e operacionais de apoio à decisão que promovem a colaboração e ainda sistemas de apoio à gestão da informação e do conhecimento.

Entre os projetos mais recentes, financiados pela Comissão Europeia nesta área, referem-se os seguintes, a título de exemplo: AC/DC – Automotive Chassis Development for 5-Days-Cars (2005/2009) que se dirige a questões de flexibilidade em cadeias complexas de fornecimento da indústria automóvel; NET-CHALLENGE – Innovative networks of SMEs for complex products manufacturing (2009/2011) para o desenvolvimento de novos conceitos e ferramentas para apoiar as PME a criar e operar eficientemente redes colaborativas não hierárquicas; ADVENTURE - Adaptive Virtual Enterprise Manufacturing Environment (2012/2014) que suporta a execução *plug-and-play* de processos em rede.

### Investigação operacional e gestão de operações

Entre os projetos com uma forte componente de IO, deve realçar-se um Sistema de Apoio à Decisão para o escalonamento de operações em ambientes industriais ("*scheduler*"), integrando uma abordagem inovadora, baseada em modelos de *job-shop* e heurísticas multi-objetivo. É particularmente interessante porque toma em consideração muitas das dificuldades a que as empresas têm de fazer face, em diversos contextos industriais reais. O projeto baseia-se numa sólida parceria com empresas de *software* de dimensão ibérica que têm neste momento o *escalonador* do INESC TEC a funcionar integrado com mais de 30 ERP instalados em empresas industriais.

Um dos sectores industriais onde a UESP tem tido uma maior e bem sucedida intervenção é o *calçado*, com uma longa história de colaboração com o Centro Tecnológico do sector (CTC), a APPICAPS e inúmeras empresas. Refira-se por exemplo que em 2012, a UESP viu ser concedida uma patente europeia a um sistema logístico flexível para as secções de montagem e acabamento das fábricas de calçado. No âmbito do projeto Shoe-ID foi desenvolvido um novo conceito para a gestão de cadeias de fornecimento de calçado baseado na resposta rápida e na utilização da tecnologia RFID. Este conceito inclui o desenvolvimento de novas abordagens para a previsão da procura, interação com os consumidores na loja e modelos logísticos mais flexíveis.

### Novos projetos europeus

Em janeiro de 2014 têm início dois projetos europeus estruturantes da investigação do grupo, com uma forte componente de otimização e apoio à decisão. O FOCUS (*Advances in Forestry Control and Automation Systems in Europe*) aborda áreas como a logística florestal, as redes colaborativas, e o planeamento e controlo das operações. O MOFSS – *Make to Order Fast and Smart Scheduler*, inclui o desenvolvimento de soluções inovadoras de "*scheduling*", baseadas em simulação e otimização, especialmente dirigidas para PMEs.

### Outros programas ou projetos estruturantes

No PRODUTECH - *Pólo das Tecnologias de Produção* (2011/2014), a UESP tem uma forte participação, com atividade de investigação centrada essencialmente em dois projetos nas áreas da gestão de operações e logística para produtos *customizados*, e dos sistemas de produção em rede. As intervenções mais relevantes da UESP são em tarefas envolvendo arquiteturas de sistemas de produção, sistemas flexíveis para logística interna (recorrendo à simulação) e sistemas avançados de escalonamento da produção.

O projeto BEST CASE – *Smart Manufacturing and Logistics* é liderado pela unidade, financiado pelo FEDER (através do ON2), teve início em janeiro de 2013 e uma duração de 30 meses. O principal objetivo desta iniciativa é estabelecer um *framework* inovador para investigação de vários tópicos relevantes em gestão da produção e logística, com o desenvolvimento de novos modelos, técnicas e aplicações.

### O futuro

Enquanto *interface* entre a universidade e o mundo empresarial, a UESP tem ao longo dos anos conseguido articular, com sucesso, investigação e projetos de desenvolvimento nos mais diversos setores. Esta capacidade é naturalmente um factor de atração para jovens investigadores que pretendem desenvolver trabalho de qualidade e com impacto na sociedade, e constitui seguramente uma enorme vantagem da Unidade para fazer face a um futuro pleno de desafios.

Alcibiades Paulo Guedes

## “... A FORMAÇÃO EM INVESTIGAÇÃO OPERACIONAL É TÍPICAMENTE UM DOS PILARES FUNDAMENTAIS ... DO PROFISSIONAL DE LOGÍSTICA / GESTÃO DA CADEIA DE ABASTECIMENTO.”

Presidente da APLOG (Associação Portuguesa de Logística)  
Vice-Presidente do INEGI (Instituto de Engenharia Mecânica e Gestão Industrial)  
Professor Auxiliar na FEUP



**Na actual conjuntura económica, a definição de uma adequada estratégia logística poderá ser considerada como uma vantagem competitiva das empresas. Sendo o tecido empresarial Português formado maioritariamente por pequenas e médias empresas (PME), considera que existe uma consciencialização dos benefícios inerentes a cada negócio resultantes da definição de uma adequada estratégia logística? Neste contexto, qual a importância que poderá ter o estabelecimento de parcerias logísticas dentro da cadeia de abastecimento?**

Sim, sem dúvida. O contexto macroeconómico que se vive conduz a um reforço do papel da Logística. Níveis de exigência acrescida, margens reduzidas, níveis crescentes de eficiência, exportação para mercados mais distantes, níveis crescentes de concorrência, gestão mais restritiva da tesouraria, níveis inferiores de capital circulante, etc, são tudo ambientes favoráveis ao desenvolvimento da Logística nas organizações.

A evolução da *performance* das empresas portuguesas no que respeita à Logística tem sido muito positiva. Numa primeira década (90s), os pioneiros fizeram um percurso notável. Numa segunda década (2000s), uma segunda leva de empresas (outros setores, PME's, etc) fizeram também um grande percurso. Mas mesmo assim, nesta terceira década, continuamos a constatar um *deficit* a este nível, que se torna mais evidente devido à situação económica que atravessamos:

1. ainda há um número importante de empresas / organizações que não despertaram para a importância da Logística;
2. há um conjunto muito grande de empresas em que a Logística tem baixa-média maturidade de desenvolvimento, ou seja, que estão na fase de integrar a gestão das atividades logísticas dentro da empresa;
3. e há finalmente uma percentagem relativamente pequena das empresas com um grau elevado de

maturidade de desenvolvimento da Logística e de integração da cadeia de abastecimento, que se podem comparar às melhores em termos globais.

Sendo certo que encontraremos os três tipos de empresas em todos os setores de atividade, arriscaria a dizer que são exemplo típico: das primeiras, uma parte muito significativa das PME's dos setores tradicionais da economia portuguesa e dos setores menos expostos a ambientes competitivos agressivos; das segundas, muitas das empresas de maior dimensão em setores industriais como a fileira da madeira, dos materiais de construção, indústria metalomecânica, indústria têxtil ou ainda algumas indústrias de processo; das últimas, empresas nos setores da distribuição moderna, do retalho organizado, dos produtos de grande consumo, alimentação e bebidas, da produção de materiais de embalagem, das fileiras automóvel e eletrónica, da distribuição farmacêutica, do papel, do vestuário e acessórios de moda com marca própria.

As parcerias em termos de cadeia de abastecimento são fundamentais, pois num ambiente muito competitivo, são uma das formas mais eficazes de criar valor para os vários atores, obter ganhos de eficiência, diferenciar a oferta e fidelizar relações entre elos da cadeia.

**Fundada em 1991 e contando actualmente com cerca de 374 associados, 50% dos quais pretencentes ao sector empresarial, de que forma é que a APLOG (Associação Portuguesa de Logística) ajuda os seus associados a traduzir os benefícios logísticos em valor real acrescentado?**

A atuação da APLOG é transversal a toda a cadeia de abastecimento, incluindo empresas industriais, distribuição, retalho, etc, dos vários setores de atividade, prestadores de serviços logísticos e a todos os profissionais envolvidos na área da Logística/Gestão da Cadeia de

Abastecimento. Isso está refletido na própria composição da Direção, à qual tenho muito orgulho em presidir e onde temos a Modelo Continente (Sonae), o Grupo Portucel Soporcel, a Rangel e a Unilever Jerónimo Martins.

Na perspetiva das empresas e da gestão, a APLOG tem ajudado:

- a colocar a Logística e a Cadeia de Abastecimento na agenda dos CEO's e das Administrações, ou seja incorporar melhor a Logística e a Gestão da Cadeia de Abastecimento na formulação e execução da estratégia das empresas;
- a disseminar as melhores práticas logísticas como forma de aumentar a competitividade das empresas, nomeadamente em termos de produtividade, rentabilidade dos ativos, nível de serviço, proposta de valor ao mercado, internacionalização, etc;
- a disseminar o conhecimento em Logística, promovendo congressos, seminários, visitas técnicas e muito em particular a formação certificada (ECBL e APPICS).

Nesta nossa atuação, não podemos deixar de relevar:

- o papel do Congresso de Logística da APLOG, que tem conseguido uma forte adesão dos profissionais (com uma média de cerca de 400 congressistas nos últimos anos) e que se tornou, sobre todos os pontos de vista, o evento de referência na agenda anual das empresas e dos profissionais de Logística;
- a formação certificada dos profissionais de Logística e da Cadeia de Abastecimento, aberta ou *in-company*, como instrumento fundamental de criação de valor para os associados e para a comunidade logística.

Temos também tido um papel crescente em colocar o tema da Logística na agenda dos decisores públicos, procurando ajudar a identificar aqueles investimentos prioritários nas info e infraestruturas logísticas que criem valor para as empresas e para a economia, a

eliminar os custos de contexto no setor portuário, nos transportes (ferrovia, rodovia) e plataformas logísticas, procurando contribuir na medida das nossas possibilidades para posicionar Portugal como um centro logístico competitivo a nível Europeu. Neste posicionamento, temos-nos colocado sempre do lado do tecido empresarial, numa perspetiva abrangente da cadeia de valor, das empresas industriais, à distribuição, ao retalho, aos operadores logísticos, etc.

**A tentativa de corte da despesa pública tem sido uma constante nos últimos orçamentos de estado, o que se traduz numa redução no investimento nos diferentes sectores. Que papéis deverão desempenhar o Estado e o sector privado no sistema logístico nacional?**

Eu diria que os papéis habituais. Compete ao estado definir as políticas, as regras e a regulação e implementar a infraestruturação mínima. Compete aos privados operar os vários sistemas e desenvolver os negócios num ambiente competitivo, remunerando o Estado na proporção do nível de investimento colocado para cada uma das partes.

**Em 1998, a APLOG patrocinou um estudo intitulado "A logística em Portugal no virar do século". Com a contracção do mercado interno surgem novos desafios e áreas de negócio, aumentando o número de empresas Portuguesas que apostam na sua internacionalização. Que oportunidades e desafios se colocam à Logística neste novo contexto?**

Sabemos que empresas expostas a uma crescente internacionalização e a um maior peso das exportações, em particular para mercados mais distantes, acabam por perceber que a Logística está no centro das competências *core* da organização/empresa. A oportunidade é enorme, pois sempre que aumentamos a geografia de intervenção da organização (maiores distâncias), seja a montante, seja a jusante, e sempre que tornamos mais complexos os negócios (mais produtos, mais mercados, prazos mais exigentes, etc), maior é a importância das decisões em Logística / Cadeia de Abastecimento e o peso que têm na conta de exploração e no balanço.

Para que esta oportunidade se materialize, a operação logística é um fator competitivo determinante e contém vários desafios. Do lado da oferta, necessitamos de portos competitivos, de operadores logísticos fortes e capazes de oferecerem soluções integradas aos seus clientes em várias geografias, de uma maior complementaridade entre os modos de transporte (marítimo, rodoviário e ferroviário), de plataformas logísticas capazes de agregar valor e otimizar fluxos, cada vez mais tenso. Se estas indústrias não estiverem preparadas, o risco de perder competitividade por falta de capacidade de execução e otimização do fluxo logístico é grande.

Do lado das empresas exportadoras, os desafios são também grandes:

- a nossa localização excêntrica ao consumo, implica custos acrescidos face aos posicionados no centro da Europa e requer soluções criativas;

- quanto mais longas e complexas forem as cadeias de abastecimento, mais importante é a gestão do risco, para minimizar a probabilidade de interrupções e atrasos;
- os níveis crescentes de rastreabilidade e segurança requerem utilização das TICs à escala global e abordagens integradas com fornecedores e clientes;
- o peso crescente dos custos de combustíveis, associados às maiores distâncias, vão certamente exigir soluções novas, por vezes disruptivas;
- para prestar os níveis de serviço adequados (à distância), há necessidade de assumir o controlo da operação até ao destino, redesenhar localização de *stocks*, melhorar os modelos colaborativos;
- tem que conciliar o fator distância com soluções próximas do *just-in-time*.

Fica também claro que os profissionais de Logística/Gestão da Cadeia de Abastecimento têm de responder a este desafio, preparando-se para poderem assumir responsabilidades ao nível estratégico e tático, crescerem em maturidade e senioridade, assumirem-se como motores da mudança e da constante otimização dos processos. Também ao nível operacional, os profissionais têm de ser capazes de perceber cada vez melhor o seu papel na cadeia de valor, de utilizar as ferramentas mais adequadas, de adotar uma atitude de melhoria contínua.

Tendo a APLOG como seu principal objetivo, o desenvolvimento do conhecimento logístico e divulgação/implementação de boas práticas, e procurando antecipar as tendências e as necessidades do País, das empresas e dos empresários, optámos por dedicar os nossos dois últimos congressos, o 15º e o 16º, às exportações e aos mercados de futuro e promover a discussão dos temas elencados.

**Desde tempos ancestrais que Portugal dispõe de relações privilegiadas com a África, a Ásia e o Brasil. Por outro lado, geograficamente Portugal encontra-se na periferia da Europa. Passará a vantagem competitiva das empresas Portuguesas pelo investimento nestes mercados em ascensão? Que importância terá a Logística neste novo contexto de investimento?**

O papel e a importância crescente da Logística neste contexto, foi abordado no ponto anterior.

Em termos das geografias, para a APLOG não existem geografias mais adequadas para as exportações, sendo os novos mercados dependentes da estratégia comercial de cada empresa e do seu potencial sucesso de implementação. No entanto, considerando o decréscimo verificado nos últimos anos na Europa, estamos de acordo que canais de exportação com maior potencial passam pela América Latina, Ásia e África. O nosso congresso de 2013 apostou precisamente em Moçambique e China, numa perspetiva de potencial de investimento logístico e empresarial para as empresas Portuguesas e de mercados de consumo destino das nossas exportações. No congresso de 2012, já tínhamos abordado Angola e Brasil.

**O sucesso de qualquer organização, e em particular de um departamento logístico, deve-se essencialmente às pessoas que o integram. Nesse sentido, de que forma os profissionais com formação em Investigação Operacional podem contribuir para os desafios anteriormente apresentados?**

A Logística e a Gestão da Cadeia de Abastecimento lidam com aspetos *cross-functional* e que têm de balancear/otimizar objetivos tipicamente conflitantes de custo e eficiência com eficácia e qualidade do serviço a clientes. Assim, e só para dar alguns exemplos, colocam-se *trade-offs* clássicos entre: i) Custo e velocidade dos meios de transportes vs. quantidade e localização dos *stocks* (capital empatado); ii) Número de armazéns vs. custos de *stocks* e custos de transporte; iii) Eficiência das operações vs. capacidade de resposta (frequência, flexibilidade e agilidade); etc.

Se há diferenças que identifico no perfil dos profissionais que singram na área da Logística e da Gestão da Cadeia de Abastecimento, por comparação com profissionais de outras áreas, é a necessidade de terem uma leitura sistémica dos problemas, serem capazes de avaliar *trade-offs* com objetivos conflitantes, terem uma forte orientação analítica e operarem em ambientes com graus de incerteza e risco.

Ou seja, a formação em Investigação Operacional é tipicamente um dos pilares fundamentais na construção do perfil ideal do profissional de Logística / Gestão da Cadeia de Abastecimento. Há um vasto leque de decisões em que as competências em Investigação Operacional são fundamentais, só para dar alguns exemplos:

- ao nível estratégico, o desenho/configuração da rede logística que melhor responde a um dado modelo de negócio, setor, contexto, etc;
- ao nível tático, o planeamento integrado, incluindo o planeamento da procura, o planeamento dos *stocks*, o planeamento agregado da produção e o planeamento dos materiais;
- ao nível operacional, otimização de *layouts*, definição de rotas e escalonamento de transportes, planeamento fino, etc.



de dados. O  $k$ -médias tem duas vantagens principais: é fácil de implementar e não exige grande esforço computacional, o que o torna apropriado para grandes bases de dados. Este algoritmo visa distribuir um conjunto de  $n$  objetos de dados por  $k$  grupos, por forma a obter uma grande semelhança intra-grupos e uma semelhança reduzida entre os diferentes grupos. Uma das principais desvantagens do algoritmo  $k$ -médias é o facto de requerer a definição *à priori* do número de grupos. Para isto, são referidas na literatura várias heurísticas, já que não é possível determinar teoricamente o número ótimo de grupos (ver [9], para uma revisão). O índice de Davies-Bouldin e o erro quadrático médio são dois critérios habitualmente utilizados para escolher o número de grupos a construir. O índice de Davies-Bouldin é baseado na razão entre a soma da dispersão interna dos grupos e a distância entre grupos. O número apropriado de grupos é aquele que corresponde a um valor mais baixo deste índice. O erro quadrático médio, usado neste contexto para construir a denominada curva do cotovelo, representa a dispersão dentro dos grupos, definida tipicamente como a soma dos quadrados das distâncias entre todos os objetos e o centroide do grupo correspondente, dividida pelo número de grupos. À medida que o número de grupos aumenta, a medida de erro diminui monotonicamente e, a partir de um determinado valor de  $k$ , a diminuição deixa de ser significativa. Este "cotovelo" é normalmente usado para definir o número adequado de grupos.

O presente artigo descreve a segmentação de clientes efetuada para uma empresa de retalho Europeia e baseou-se em informação relativa aos hábitos de compra dos clientes com cartão de fidelização, avaliados através da frequência e valor monetário das compras. Foram usados os dados transacionais dos clientes relativos ao último trimestre de 2009. Cada registo transacional inclui o número de identidade do cliente, a data e a hora da transação, o produto transacionado e o preço do produto. A preparação da base de dados para a análise exploratória envolveu a seleção dos dados relevantes para a análise, a integração dos dados provenientes de diferentes fontes e a eliminação dos valores extremos. Após este processo de preparação, a base de dados passou a conter as transações relativas a 2.142.439 clientes.

Os segmentos (*clusters*) foram definidos com base nas seguintes variáveis exploratórias: o número médio de compras feitas por mês e o valor médio gasto por compra. Embora a literatura sugira o uso das variáveis RFM, neste estudo não se incluiu a variável referente à data da última compra, já que se considerou que o período de análise não era suficientemente longo para permitir a diferenciação de clientes nesta dimensão. A fim de se definir o número ótimo de segmentos, foi analisada a curva do cotovelo e calculado o índice de Davies-Bouldin para diferentes valores do número de *clusters*. Daqui resultou a decisão de agrupar os clientes em cinco *clusters*.

A caracterização do perfil dos clientes integrados em cada segmento pode ser feita com recurso a técnicas de classificação. A extração das regras de classificação é um processo que pode ser usado para identificar as características que distinguem os objetos de diferentes grupos. As árvores de decisão são muito utilizadas neste contexto pois permitem obter facilmente as regras que caracterizam os grupos. Isto é feito através da identificação dos atributos, ou seja, as variáveis de agrupamento consideradas relevantes para a descrição dos grupos. Uma árvore de decisão tem a estrutura de uma árvore com nós e ramos. Os nós podem ser de dois tipos: folha e nó de decisão. Uma folha representa uma classificação, ou seja, o nome do grupo, enquanto um nó de decisão está associado a uma escolha entre dois ramos, correspondendo a diferentes valores de um determinado atributo. Os ramos com origem num determinado nó de decisão representam as alternativas possíveis para o intervalo de valores dos atributos.

Existem na literatura inúmeros algoritmos de construção de árvores de decisão. O CHAID, o ID3, o CART, o C4.5 e o AID são alguns exemplos. O algoritmo usado neste estudo para a construção da árvore de decisão foi o algoritmo C4.5, disponível no *software RapidMiner*. Os detalhes sobre a parametrização deste algoritmo podem ser obtidos em [7].

A Figura 1 ilustra o perfil de clientes pertencentes a cada segmento, obtido através da árvore de decisão. Para uma análise mais aprofundada de alternativas de segmentação em empresas de retalho ver [1] e [2].

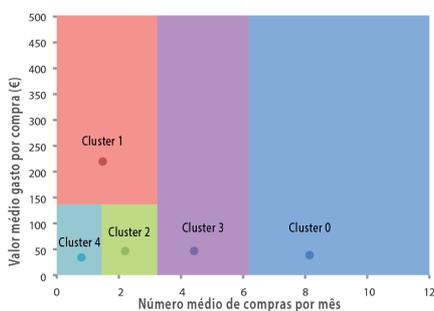


Figura 1: Caracterização dos grupos.

## 2.2 Atração e desenvolvimento da relação com os clientes

Com vista à atração e desenvolvimento da relação com os clientes, as empresas recorrem frequentemente a campanhas promocionais. O estudo relatado neste artigo teve por objetivo a identificação de regras de associação entre produtos que revelem a tendência de dois ou mais produtos serem adquiridos em conjunto. Isto permite identificar clientes potencialmente interessados em campanhas relativas a um desses produtos, já que habitualmente compram o outro produto que lhe está associado. Com esta informação, as empresas podem fazer campanhas promocionais dirigidas a clientes específicos, ou a clientes de determinados

segmentos, com uma taxa mais elevada de adesão e perceção de valor por parte dos clientes.

Uma regra de associação pode ser representada na forma  $X \rightarrow Y$ , o que significa que quando  $X$  é comprado  $Y$  também é comprado.  $X$  é denominado antecedente e  $Y$  consequente, de forma que a compra do antecedente desencadeia a compra do consequente.

Os algoritmos de descoberta de regras de associação entre produtos envolvem duas fases. Na primeira fase são identificados os produtos que são comprados mais frequentemente. Os algoritmos mais usados nesta fase são o algoritmo Apriori, o algoritmo Frequent-pattern growth e o algoritmo Eclat. O algoritmo usado neste estudo foi o algoritmo Apriori. A medida de suporte, representada por  $s(X)$ , corresponde à percentagem de cabazes de compra analisados que contêm o produto  $X$ . Em seguida, os produtos com um suporte maior do que o limite especificado são combinados dois a dois, e é calculado o suporte desses conjuntos de produtos, isto é, estima-se o valor de  $s(X, Y)$  (ver expressão (1)). Os grupos de dois produtos com um suporte maior do que o mínimo definido pelo analista são considerados no passo seguinte. A cada um deles é adicionado mais um produto, selecionado de entre os produtos frequentes, identificados no primeiro passo. Este processo iterativo continua até que não seja possível definir mais conjuntos de produtos com um suporte acima do mínimo especificado.

$$s(X, Y) = P(X \cup Y) \quad (1)$$

Uma vez concluída a identificação dos produtos comprados mais frequentemente, numa segunda fase é necessário identificar, dentro dos conjuntos de produtos frequentes, os produtos antecedentes e os consequentes. Isto requer o cálculo da medida de confiança. Considerando-se a regra de associação  $X \rightarrow Y$ , a confiança  $c(X \rightarrow Y)$  é a razão entre o número de cabazes que contêm ambos os produtos  $X$  e  $Y$  e o número de cabazes que contêm apenas  $X$  (ver expressão (2)). No caso da medida de confiança ser superior ao limite mínimo definido, a regra é considerada uma regra de associação.

$$c(X \rightarrow Y) = \frac{s(X, Y)}{s(X)} \quad (2)$$

O *lift* é outra medida comum na análise das regras de associação, que avalia o nível de dependência entre os produtos que integram a regra de associação. É obtido dividindo o suporte de  $X$  e  $Y$ ,  $s(X, Y)$ , que representa a percentagem de cabazes que contêm  $X$  e  $Y$  em relação ao conjunto total de cabazes, pelo produto do suporte de  $X$  e  $Y$ , considerados em separado (ver expressão (3)).

$$lift(X \rightarrow Y) = \frac{s(X, Y)}{s(X) \cdot s(Y)} \quad (3)$$

Se o *lift* for igual a 1, existe independência entre a ocorrência de vendas dos produtos  $X$  e  $Y$ . Se o *lift* for maior do que 1, os produtos tendem a ser comprados em conjunto, e se for menor do que 1, os produtos tendem a ser comprados separadamente. As regras que apresentam um *lift* inferior a 1 são geralmente ignoradas, já que apenas as regras com *lift* superior a 1 são

interessantes para suportar políticas de *marketing*.

Para efeitos de ilustração, a Tabela 1 apresenta algumas das regras de associação de produtos identificadas para o *Cluster 4* apresentado previamente. Estas regras podem estar na base da definição de campanhas promocionais diferenciadas, de forma a irem o mais possível de encontro aos interesses dos clientes de cada segmento. Para mais detalhes sobre este assunto ver [1].

Antecedente (X)	Consequente (Y)	Conf.	Lift	s(X,Y)	s(X)	s(Y)
Condicionador de cabelo	Champô	64%	5,50	3%	5%	12%
Tomates	Vegetais para a salada	60%	4,55	5%	9%	14%
Couve	Vegetais para a sopa	58%	3,68	6%	10%	16%
Arroz	Massa	58%	3,08	9%	16%	19%
Fiambre em fatias	Queijo flamengo	57%	3,89	7%	12%	15%

Tabela 1 - Regras de associação para o *Cluster 4*.

### 2.3 Retenção dos clientes

Com vista à retenção dos clientes, é crucial o desenvolvimento de modelos de identificação dos clientes com maior propensão para terminar a relação com a empresa. Uma vez que no setor de retalho o abandono por parte dos clientes normalmente ocorre de uma forma progressiva, este acontecimento é tratado como um abandono parcial. O abandono parcial é identificado pela análise da evolução do valor gasto pelos clientes ao longo do tempo. Por exemplo, pode considerar-se que os clientes que a partir de um determinado trimestre não fizeram novas compras, ou que em todos os trimestres posteriores ao período de referência passaram a comprar menos de 30% do montante gasto no período de referência, abandonaram parcialmente a empresa.

Para prever o abandono parcial é necessário identificar as variáveis que poderão ter maior poder discriminatório. As variáveis habitualmente usadas neste contexto agrupam-se em demográficas, tempo entre compras, frequência de visitas, valor monetário, diversidade de produtos, diversidade de categorias e diversidade de marcas. Relativamente às técnicas de *data mining* mais apropriadas para distinguir os clientes com maior probabilidade de abandono dos restantes, as que têm maior relevo são as técnicas de classificação.

O objetivo das técnicas de classificação é de prever o valor do atributo classe, ou seja o abandono ou não abandono. O processo de classificação envolve duas fases. Na primeira fase, a fase de aprendizagem, é construído um classificador através da análise da amostra de treino, que inclui valores conhecidos para o atributo classe. Na segunda fase, o classificador obtido na fase anterior é usado para associar a cada cliente o valor do atributo classe desconhecido.

De entre as diversas técnicas de classificação referidas na literatura, como por exemplo a regressão logística, as árvores de decisão, as *random forests* e as redes neuronais, a regressão logística é a mais frequentemente usada neste contexto, devido à sua simplicidade e robustez. Para além disso, a regressão logística tem a vantagem de não exigir a normalidade da variável dependente nem dos erros e comportar efeitos não-lineares. A regressão logística é usada quando se pretende estimar o valor de uma variável binária que traduz, por exemplo, a ocorrência ou não de determinado evento. Assim, neste tipo de regressão a variável dependente representa a probabilidade de um evento ocorrer, e o seu valor varia entre 0 e 1. A regressão logística assume uma relação linear entre a variável dependente, expressa numa escala logarítmica, e as variáveis independentes.

A avaliação do desempenho das técnicas de classificação é essencial para a construção de um modelo eficaz de previsão do abandono dos clientes. A literatura tem recomendado o recurso à área sob a curva *Receiver Operating Characteristics* (ROC), designada por AUC (*Area Under the Curve*). A AUC avalia a capacidade do modelo classificar corretamente os clientes nas duas classes, ou seja, os que vão abandonar e os que mantêm a relação com a empresa. A curva ROC apresenta a taxa de verdadeiros positivos e a taxa de falsos positivos para todos os valores possíveis dos pontos de corte relativos à previsão do modelo (i.e., valor de probabilidade a partir do qual se considera que o cliente vai abandonar). A AUC toma o valor 1.0 se a previsão for perfeita e 0.5 se for idêntica a uma previsão aleatória. Uma vez que a AUC é calculada diretamente a partir dos valores de previsão obtidos, esta métrica tem a vantagem de ser independente da escolha do agente de decisão relativamente ao valor do ponto de corte a utilizar no modelo. Além disso, esta medida de desempenho é robusta, mesmo na presença de *outliers*, e não obriga a assumir uma forma específica para a função de distribuição da variável dependente.

No contexto de previsão de abandono de clientes, uma outra métrica de avaliação de desempenho bastante utilizada é o *top-percentile lift*. Esta medida centra-se no segmento de clientes com maior probabilidade de abandonar a empresa. Admitindo que a empresa está interessada nos clientes acima do percentil  $p$  relativo à probabilidade de abandono, a medida de *top p-th percentile lift* é igual à razão entre a proporção de clientes que estão no percentil superior  $p$  e que efetivamente abandonaram, e a proporção de clientes que abandonaram na amostra completa. Por exemplo, um *top p-th percentile lift* de 3 significa que o modelo em análise identifica três vezes mais clientes que abandonaram do que faria uma atribuição aleatória. Como a proporção de clientes que a empresa está disposta a definir como alvo depende do contexto específico, nomeadamente do orçamento disponível para ações de *marketing*, este trabalho utilizou a medida de *lift* para os percentis 10% e 20%.

Para avaliar o desempenho dos modelos de classificação de uma forma mais robusta, a literatura sugere a divisão da base de dados em amostras de treino e teste, numa abordagem estratificada designada *10-folds*. Para isso a base de dados inicial é dividida em 10 amostras com dimensão semelhante, nas quais a proporção de clientes que abandonaram deve ser relativamente semelhante. Assim, o modelo é treinado com nove amostras e testado na amostra restante. Este processo é repetido dez vezes e a medida de desempenho corresponde à média das medidas obtidas nas várias iterações.

No estudo da retenção de clientes relatado neste artigo usaram-se dados relativos a cerca de 1.3 milhões de clientes que fizeram as suas compras com o cartão de fidelização em dois hipermercados da empresa durante os anos de 2009 e 2010. O comportamento dos clientes neste período foi caracterizado através de 44 variáveis, que estiveram na base da construção do modelo de previsão. Recorrendo ao *software R*, nomeadamente aos *packages Base* e *Presence Absence*, este modelo permitiu obter uma AUC de 0.75 e valores de *lift* de 2.05 e 2.18 para os percentis 10% e 20%, respetivamente. Estes valores revelam que o modelo tem uma boa capacidade de discriminação entre os clientes que vão abandonar a empresa e os clientes mais fiéis. Para mais detalhes sobre o modelo de previsão de abandono aqui descrito ver [5]. Modelos de previsão de abandono por parte de clientes recentes da empresa, que tiram partido de variáveis relativas à sequência de produtos adquiridos pelos clientes, estão descritos em [3] e [4].

### 3. Conclusões

A gestão da relação com os clientes nunca foi tão crucial para as empresas como é atualmente. O ambiente competitivo em que estas operam tem imposto a adoção de estratégias centradas no cliente. Para além disso, o desenvolvimento tecnológico verificado nos últimos anos tem permitido às empresas manter bases de dados com muita informação relativa aos clientes. Isto permite o uso de técnicas de *data mining* para extrair conhecimento dessas bases de dados, e dessa forma obter posições de liderança num mercado cada vez mais competitivo. Este artigo apresenta algumas aplicações de suporte ao CRM numa empresa do setor de retalho, usando técnicas de *data mining*. Os modelos desenvolvidos visam contribuir para a melhoria da relação entre as empresas de retalho e os seus clientes. Foram estudados os vários processos de CRM, incluindo a identificação dos clientes, através do uso de técnicas de *clustering* para a segmentação, a atração e o desenvolvimento dos clientes, através do uso de técnicas de associação entre produtos para apoiar o desenho de ações de promoção diferenciadas, e a retenção dos clientes, através do uso de técnicas de classificação para distinguir os clientes que poderão vir a abandonar a empresa.

As aplicações apresentadas visaram demonstrar o potencial das técnicas de *data mining*, aplicadas a grandes bases de dados transacionais resultantes do uso de cartões de fidelização, para acrescentar valor às empresas de retalho e simultaneamente obter benefícios para os clientes. O caso de estudo aqui referido foi um exemplo de como a investigação operacional e os modelos quantitativos podem ajudar as empresas a melhorar a sua relação com os clientes, bem como servir de apoio à gestão no desenho de ações de *marketing* mais eficazes.

#### Referências

- [1] Miguéis, V. L., Camanho, A. S., Cunha, J. F., Mining customer loyalty card programs: The improvement of service levels enabled by innovative segmentation and promotions design, *Lecture Notes in Business Information Processing*, 82, 83-97, 2011.
- [2] Miguéis, V. L., Camanho, A. S., Cunha, J. F., Customer data mining for lifestyle segmentation, *Expert Systems with Applications*, 39, 9359-9366, 2012.
- [3] Miguéis, V. L., Van den Poel, D., Camanho, A. S., Cunha, J. F., Predicting partial customer churn using Markov for discrimination for modeling first purchase sequences, *Advances in Data Analysis and Classification*, 6, 337-353, 2012.
- [4] Miguéis, V. L., Van den Poel, D., Camanho, A. S., Cunha, J. F., Modeling partial customer churn: On the value of first product-category purchase sequences, *Expert Systems with Applications*, 39, 11250-11256, 2012.
- [5] Miguéis, V. L., Camanho, A., Cunha, J. F., Customer attrition in retailing: An application of multivariate adaptive regression splines, *Expert Systems with Applications*, 40, 6225-6232, 2013.
- [6] Ngai, E. W. T., Xiu, L., Chau, D. C. K., Application of data mining techniques in customer relationship management: A literature review and classification, *Expert Systems with Applications*, 36, 2592-2602, 2009.
- [7] Rapid-I, *RapidMiner 4.6 User Guide*, Rapid Gmb, Germany, 2009.
- [8] Roel, R., Direct marketing's 50 big ideas, *Direct Marketing*, 50, 45-52, 1988.
- [9] Tibshirani, R., Walther, G., Hastie, T., Estimating the number of clusters in a data set via the gap statistic, *Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Statistical Methodology)*, 63, 411-423, 2001.

## OUTRAS NOTÍCIAS

Foi, mais uma vez, atribuído o **Prémio APDIO – FCT/UNL** ao melhor aluno de IO da Faculdade de Ciências e Tecnologia da UNL, prémio constituído com parte dos lucros do IO2009 - 14º Congresso Nacional da APDIO, que decorreu na FCT/UNL. O prémio relativo ao ano lectivo de 2012/13 foi atribuído a **Fábio Alexandre Soromenho Pinto**, aluno do **Mestrado em Matemática e Aplicações** daquela faculdade. O diploma e cheque correspondentes ao prémio foram entregues no Dia da FCT/UNL, em Novembro passado.

**A APDIO, a SPE** (Sociedade Portuguesa de Estatística) e **a SPM** (Sociedade Portuguesa de Matemática) celebraram um protocolo que permite aos **sócios estudantes usufruírem das respectivas regalias de qualquer uma das associações/sociedades científicas**.

### TESE DE DOUTORAMENTO CONCLUÍDA RECENTEMENTE

Autor: **Min Li**

Título: **Inexactness in Decomposition Methods for MINLP**

Instituição: Faculdade de Ciências e Tecnologia – Universidade de Coimbra

Designação do Doutoramento: Doutoramento em Matemática

Data de conclusão: Abril de 2013

Orientador: **Luís Nunes Vicente**

### PROJECTOS APROVADOS

**Projecto COST TD1207 da União Europeia**

**Mathematical Optimization in the Decision Support Systems for Efficient and Robust Energy Networks**

Área científica principal: **Matemática**

Investigador responsável: **Luís Nunes Vicente**

Instituição proponente: **Universidade de Coimbra**

**Projecto 34080 (QREN / Agência de Inovação)**

**ADINLOC - Advanced dynamic indoor localization system**

Área científica principal: **Tecnologias da Informação e Telecomunicações**

Investigador responsável: **José Augusto Ferreira (na Universidade de Coimbra)**

Instituição proponente: **BlueCaring - Sistemas de Monitorização, SA**

Instituição participante: **Universidade de Coimbra**

**Projecto 34164 (QREN / Agência de Inovação)**

**SGP-GIMS – SmartGeo Portal “Geographic Information Management System”**

Área científica principal: **Tecnologias da Informação e Telecomunicações**

Investigador responsável: **José Luís Santos (na Universidade de Coimbra)**

Instituição proponente: **SmartGeo**

Instituição participante: **Universidade de Coimbra**

### EVENTOS APOIADOS PELA APDIO

**EURO mini-Conference on Optimization**

5 a 9 de Fevereiro de 2014

Aveiro, Portugal

<http://minieuro2014.web.ua.pt>

**ORAHs 2014 – 40th Annual Meeting of the EURO Working Group on OR Applied to Health Services**

20 a 25 de Julho de 2014

Lisboa, Portugal

<http://orahs2014.fc.ul.pt>

**Optimization 2014**

28 a 30 de Julho de 2014

Guimarães, Portugal

<http://optimization2014.dps.uminho.pt>

Qualquer contribuição para o Boletim deve ser enviada para [boletim.apdio@campus.fct.unl.pt](mailto:boletim.apdio@campus.fct.unl.pt)

# PORTUGUESES EM IO PELO MUNDO



**Ana Isabel Barros,**  
Principal Scientist TNO (Instituto de Investigação Aplicada Holandês)  
Senior Research Fellow NLDA (Academia Militar Holandesa)

O convite da Comissão Editorial para partilhar a minha experiência pessoal e profissional em IO, levou-me a voltar atrás nos anos e a interrogar-me se a carreira em IO teria sido uma escolha consciente.

Sempre gostei de descobrir o porquê das coisas e a má organização sempre me irritou. Talvez por isso, sempre procurei descobrir novos processos para criar soluções para problemas. O curso de Matemática Aplicada na Faculdade de Ciências de Lisboa pareceu-me o mais interessante e durante este, descobri que a Investigação Operacional (logo no primeiro ano com o Professor Pinto Paixão) me assentava como uma luva. As sábias palavras do filósofo Sócrates, “quanto mais se aprende, mais se percebe o quão pouco se sabe”, levaram-me depois de concluir a licenciatura em Estatística e Investigação Operacional, a aprofundar mais o conhecimento em IO com um mestrado em Lisboa e um doutoramento em Roterdão.

No fim dos anos 80 Portugal beneficiou de um programa da Europa Comunitária para a criação de bolsas de doutoramento no estrangeiro. E o útil juntou-se ao agradável. Fazer o doutoramento noutra país, conhecer outro ambiente científico era simplesmente um desafio que não podia ser ignorado. A escolha pela Erasmus University Rotterdam foi simples, devido às aulas de mestrado da Martine Labbé e do Hans Frenk na Faculdade de Ciências (os meus supervisores diários). Fazer investigação em Roterdão, numa comunidade científica internacional e muito aberta a novas ideias, foi uma experiência fantástica que me ensinou imenso e me marcou muito. Em particular, por ter tido a possibilidade de conhecer e trabalhar com o Alexander Rinnooy Kan (sou a única mulher que fez o doutoramento com ele), ter recebido o prémio TIMMS College pela melhor dissertação em Teoria de Localização em 1995, e ter encontrado a minha cara-metade holandesa. Uma estadia no estrangeiro é sem dúvida nenhuma algo que recomendo a todos!

A decisão de mudar de país não foi fácil, até porque ser docente universitária na Faculdade de Ciências em Lisboa, era para mim uma solução segura. Durante um ano tentámos (o meu marido e eu) esta solução, mas apercebi-me de que tinha mudado nos últimos 4 anos e que a vida em Portugal já não combinava bem comigo. Por isso, e depois do nosso filho nascer em Lisboa, voltei à Holanda para começar um pós doutoramento na Erasmus. A reciclagem era em 1996 um *hot-topic* na Holanda e assim vi-me envolvida num problema logístico de reciclagem de resíduos de construção. Estar em contacto com clientes e ajudá-los a encontrar soluções adequadas usando a IO fez-me ver que para além da investigação teórica (e apesar desta ter resultado no artigo finalista do EURO Award for Excellence in Practice Report em 1998) havia muito mais a explorar. Assim, resolvi deixar a universidade em 1997 e trabalhar para o maior instituto de investigação aplicada holandesa, o TNO.

O TNO, com cerca de 4000 funcionários, foi fundado por lei em 1932, com o objetivo de assegurar que a investigação científica em várias áreas (como por exemplo saúde, energia, mobilidade, defesa e segurança) fosse adequadamente aplicada para o bem geral da sociedade. No TNO comecei a trabalhar como cientista de IO na área de defesa, uma escolha muito lógica pois a IO desenvolveu-se durante a Segunda Grande Guerra graças ao Patrick Blackett (instituiu a IO na Defesa Britânica), Bernard Koopman e George Dantzig (estabeleceram o nome da IO nos Estados Unidos). Os primeiros anos no TNO não foram fáceis pois tudo tinha que ser feito em Holandês e os meus conhecimentos de defesa eram nulos. No entanto, os desafios da IO nesta área eram tão interessantes que ajudaram a superar estas dificuldades. Ao contrário de uma empresa comercial, na área da defesa e segurança os objetivos não são tão mensuráveis (como definir segurança?) e acima de tudo a eficácia é o mais importante. Além disso, as operações militares e policiais tomam lugar em locais muito diversos o que influencia

muito a manutenção e eficácia dos sistemas usados, para além de terem que lidar com um inimigo que é capaz de tomar ações violentas. Devido ao meu gosto pela investigação rapidamente fiquei encarregada de assegurar a qualidade científica das soluções desenvolvidas, de alargar relações com as universidades, e de promover as atividades (inter)nacionais científicas e aplicadas na área da IO (também na NATO). Assim sendo, fui membro do conselho da NGB (Associação Holandesa de IO), sou editora da revista STATOR desta associação bem como do Journal of Defense Modeling & Simulation. Em 2009 fui nomeada Senior Research Fellow na Academia Militar Holandesa (NLDA) e desde 2011 sou Examinadora na Academia de Polícia Holandesa, para além de supervisionar alunos de doutoramento e de dar regularmente aulas em universidades Holandesas sobre as aplicações da IO nesta área tão fascinante. Atualmente a minha área de investigação concentra-se em IO robusta e ágil: como construir soluções que sejam boas para uma variedade grande de circunstâncias e/ou que com simples alterações se adaptem às novas circunstâncias. Em 2011 ascendi ao cargo de Cientista Principal no TNO. Este é o topo de carreira para cientistas do TNO e requer uma visão abrangente da investigação e envolvimento em questões estratégicas. Até neste cargo, a minha formação em IO me ajudou a fornecer uma perspetiva de gestão completamente diferente da dos meus colegas. Por isso acredito que a formação em IO é uma mais-valia na vida empresarial, pública e académica!

Haia, 2 de Maio de 2013  
Ana Isabel Barros

# BLOG DOS SÓCIOS

## A COMUNIDADE PORTUGUESA DE INVESTIGAÇÃO OPERACIONAL: UMA COMUNIDADE ESPECIAL

**Marta Castilho Gomes,**  
CESUR - Centro de Sistemas Urbanos e Regionais,  
Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa

2012 foi ano de Olimpíadas. Em paralelo com as notícias sobre a competição em curso que iam sendo publicadas nos jornais, apareciam também comparações entre os resultados finais dos países nos Jogos Olímpicos anteriores (2008). As grandes nações, em população, ocuparam os lugares de topo do “medalheiro”. Contudo, quando se olha para o número de medalhas em termos relativos, surgem retratos muito diferentes. O número de medalhas foi dividido pela população, pelo produto interno bruto (PIB) e pelo número de atletas presentes, para dar uma noção do carácter desportivo de um povo, da riqueza que sustenta o desenvolvimento desportivo e da eficácia dos desportistas seleccionados para as Olimpíadas. Outras nações sobressaíram nestes *rankings*, e a única que se manteve no top-10 dos três, liderando em particular o do número de medalhas dividido pelo PIB, foi a Jamaica.

Nesse Verão, participei na conferência europeia de Investigação Operacional, o EURO 2012, em Vilnius, na Lituânia, e influenciada por este espírito ordenei os países presentes. O top-7 contém, por ordem decrescente do número de participantes, a Alemanha, Turquia, Espanha, Reino Unido, França, Itália e Portugal, variando este número, dos 245 da Alemanha até aos 82 de Portugal. Desperta a atenção o facto do nosso País surgir logo a seguir a nações bastante mais populosas. Fazendo uma ordenação dos países pelo rácio do número de participantes por habitante, o top-7 contém agora, por ordem decrescente: Luxemburgo, Letónia, Portugal, Noruega, Lituânia, Finlândia e Bélgica. Nota-se a influência da geografia: uma maior intensidade de participação do país onde se realizou o congresso e de países próximos (nórdicos e bálticos). Impressiona que os nossos vizinhos europeus mais próximos, Espanha e França, fiquem bastante atrás no *ranking*, em 14º e 25º lugar, respectivamente.

Importa também, nesta ordenação, comparar Portugal com outras nações congéneres em dimensão. Os países europeus participantes no EURO 2012 com população entre os 9 e os 11 milhões de habitantes (podem designar-se nações médias, já que a população média por país da União Europeia ronda os 10 milhões de habitantes) são a Grécia, Portugal, Bélgica, República Checa, Sérvia, Hungria, Bielorrússia e Suécia. Na ordenação do rácio a Bélgica aparece próxima de Portugal, como já vimos (7º lugar do top-7), mas a terceira nação deste grupo a surgir no *ranking* é a República Checa, num afastado 18º lugar, logo seguida da Grécia em 19º.

Repeti o exercício para o EURO 2013, em Roma, conferência em que estive também presente. Outra cidade, outra geografia: o Sul da Europa em Julho, e a Cidade Eterna com os seus atractivos turísticos. Além disso, a conferência foi uma organização conjunta com a sociedade norte-americana INFORMS. De facto, o EURO 2013 contou com 3592 participantes, enquanto Vilnius em 2012 apenas atraía 2119. Portugal manteve praticamente o mesmo número de participantes (80), porém desta vez ficou em 15º lugar na ordenação em números absolutos. A forte presença da Turquia notou-se na conferência, tendo este país liderado o *ranking* de participantes, com 395, à frente da Alemanha que contou com 323. A inversão de posições tem com certeza a ver com a proximidade geográfica do país organizador, a Itália. Na ordenação dos países pelo rácio do número de participantes por habitante, o top-7 ficou constituído (por ordem decrescente) pela Noruega, Bélgica, Eslovénia, Grécia e Portugal (ex-aequo), Áustria e Luxemburgo. De novo se nota o efeito da proximidade geográfica que deverá ser a explicação para a maior intensidade de participação da Eslovénia e Grécia comparativamente ao ano anterior. A seguir a Portugal, o país do

grupo das nações médias europeias que surge na lista é a Suécia, em 24º lugar. Os nossos vizinhos Espanha e França ocupam o 22º e 23º lugar, respectivamente. Em conclusão, Portugal, Noruega, Bélgica e Luxemburgo são as nações presentes no top-7 do *ranking* relativo de ambas as conferências.

A comunidade portuguesa de IO desenvolveu-se a partir da década de 1970, afirmando-se progressivamente, e tem-se distinguido nos últimos anos a nível internacional pela qualidade da investigação produzida (que se reflecte num conjunto de artigos científicos premiados) e das conferências organizadas em Portugal. Tive o prazer de integrar a Direcção da APDIO na presidência do Professor Joaquim Júdice, cujo mandato no biénio 2010-2011 se iniciou com uma reflexão sobre o ADN da nossa comunidade e os desafios para os próximos anos. A comparação que aqui apresento pretende ser um contributo para o conhecimento desta comunidade, mostrando o seu dinamismo e interesse, expresso na intensidade de participação no congresso europeu de IO (relativamente à dimensão do país). Estamos entre as nações de topo a nível europeu: um “tigre luso” na comunidade internacional de IO. Que saibamos potenciar e transmitir para os nossos ambientes de trabalho este balanço tão positivo, num momento de crise em que Portugal é forçado a mudar e a reinventar-se, optimizando os recursos mais valiosos que temos: o talento, a criatividade e a capacidade de trabalho dos portugueses!