

BOLETIM

PUBLICAÇÃO SEMESTRAL | 63 | DEZEMBRO '20

APDIO

TÉCNICAS DE IO

**MATHEURÍSTICAS
HEURÍSTICAS,
METAHEURÍSTICAS
E PROGRAMAÇÃO
MATEMÁTICA**

ENTREVISTA

JULIA BENNELL

IO EM AÇÃO

**PLANEAMENTO DE
LONGO PRAZO DA
PRODUÇÃO**

ARTIGO DE OPINIÃO

**GESTÃO DA PRODUÇÃO:
PASSADO, PRESENTE E
... FUTURO?**

ÍNDICE

03 ENTREVISTA
JULIA BENNELL

05 ARTIGO DE OPINIÃO
GESTÃO DA PRODUÇÃO:
PASSADO, PRESENTE E ... FUTURO?
Cristovão Silva

09 TÉCNICAS DE IO
MATHEURÍSTICAS
HEURÍSTICAS, METAHEURÍSTICAS
E PROGRAMAÇÃO MATEMÁTICA
Cláudio Alves

12 IO EM AÇÃO
PLANEAMENTO DE LONGO
PRAZO DA PRODUÇÃO:
DA TEORIA À PRÁTICA
E OS DESAFIOS FUTUROS
Luís Guimarães

15 LUGAR AOS NOVOS
DESENVOLVIMENTO E PRODUÇÃO
DE NOVOS MEDICAMENTOS
Catarina Marques
Miguel Vieira
Samuel Moniz

19 O SÓCIO N.º ...
...1125
Clara Bento Vaz

20 NOTÍCIAS DA APDIO



ELIANA COSTA E SILVA

Centro de Inovação e Investigação
em Ciências Empresariais
e Sistemas de Informação
Escola Superior de Tecnologia e Gestão,
Politécnico do Porto



RUI BORGES LOPES

Departamento de Economia,
Gestão, Engenharia Industrial e Turismo,
Universidade de Aveiro

EDITORIAL

A produção, ou fabricação, tem por objetivo a transformação de matéria-prima/produtos com vista à criação de bens ou serviços que satisfaçam as necessidades humanas. Esta atividade tem sofrido diversas evoluções desde os primórdios da humanidade até aos dias de hoje. As sociedades modernas devem muito do seu desenvolvimento à capacidade de produzir em massa (produção industrial), sendo esta capacidade muitas vezes encarada como o principal motor do desenvolvimento dos países. Dada a complexidade e os desafios enfrentados, a produção industrial é um terreno fértil para a aplicação de técnicas de IO. Com vista a abordar algumas destas aplicações, a produção será o enfoque desta edição do boletim.

Na rubrica Entrevista, Julia Bennell fala-nos um pouco de um dos seus principais interesses de investigação, i.e. corte e empacotamento, e da sua ligação ao EURO Working Group in Cutting and Packing, desde a sua criação. Para além dos tradicionais problemas que surgem nas áreas de produção e logística, apresenta casos práticos, nos quais esteve envolvida, nas áreas de energia nuclear, administração de portos marítimos e arqueologia.

Cristovão Silva, em Artigo de Opinião, faz-nos viajar ao longo da evolução da produção no decurso da história da humanidade. Os principais marcos do passado são frisados, são apontados os novos problemas e tecnologias da atualidade que levaram ao conceito de Indústria 4.0 e dos muitos desafios futuros da Gestão da Produção.

Em Técnicas de IO, Cláudio Alves apresenta uma metodologia que surgiu como alternativa à abordagem clássica adotada na resolução de problemas de otimização combinatoria – as matheurísticas. Apresenta as principais classificações e taxonomias, desta metodologia cuja

ideia é usar modelos de programação matemática tirando partido das suas propriedades no contexto da execução de um procedimento heurístico.

O contributo da IO no planeamento de longo prazo da produção é ilustrado, por Luís Guimarães em IO em Ação, através da apresentação de um projeto de colaboração com uma empresa do setor das bebidas. O método desenvolvido baseia-se nos princípios do Variable Neighborhood Search combinados com formulação matemática. Deste projeto resultou um módulo que é utilizado regularmente desde 2012.

Catarina Marques, Miguel Vieira e Samuel Moniz, na rubrica Lugar ao Novos, apresentam um trabalho de investigação que pretende desenvolver abordagens baseadas em otimização, integrando um modelo de programação matemática e a simulação de Monte Carlo, para desenvolvimento e produção no sector farmacêutico.

Clara Bento Vaz, sócia número 1125, dá-nos a conhecer um pouco do seu percurso académico e profissional. O seu gosto pela Matemática, como ferramenta para resolução de problema reais, e a busca em aproximar-se à “Gestão” levou-a a ter o primeiro contacto com a IO ao frequentar o recém-criado curso em “Gestão e Engenharia Industrial”, ao qual se seguiu o doutoramento. Tem desde então, para além da atividade docente, estado envolvida em atividades de orientação e outras com empresas industriais.

Na última página surge o habitual espaço para as notícias.

ENTREVISTA

Having an impressive academic curriculum in the OR field, what do you think are the highlights and most deciding moments in your career? And how would you advise a student or young researcher to achieve academic success in OR?

I would attribute my success to working in a strongly research orientated environment and building supportive networks. It is easier, and more fun, to build your research career with other people. I was incredibly fortunate to take up a Ph.D. scholarship with Dr Kath Dowsland, who was a founding member of a European based research group that became a Euro Working Group in Cutting and packing (ESICUP). Members of this group has become my co-authors and friends for over 20 years. The group has a strong culture of nurturing new researchers and supporting the promotion of the field. National OR societies and the Association of European OR Societies (EURO) are important organisations for building networks, and these organisations understand how vital young researcher are to the health of the field. So my one piece of advice to young research is to get involved in a European Working Group to start building your network and trust that those of us who have been working in the field for a long time are keen to work with you.

“NATIONAL OR SOCIETIES AND THE ASSOCIATION OF EUROPEAN OR SOCIETIES (EURO) ARE IMPORTANT ORGANISATIONS FOR BUILDING NETWORKS, AND THESE ORGANISATIONS UNDERSTAND HOW VITAL YOUNG RESEARCHER ARE TO THE HEALTH OF THE FIELD”

One of your main research interests is on optimisation models for cutting and packing, which cover a diversity of problems, with many applications in real-life. Can you let us know of some less common/obvious applications (i.e. apart from production and logistics)?

Cutting and packing contains an incredibly diverse set of problems that have fascinated me for my whole research career. Even in the traditional areas of production and logistics there are still challenging problems and fruitful research avenues. Recent work that has expanded the scope has looked at hybrid problems i.e. production and scheduling, production and distribution, packing and delivery/pick up etc. However, there exist many specific novel problems that can be modelled as cutting and packing problems. Three I have investigated are as follows. The cutting and containment of components removed from a nuclear reactor for efficient storage. The components may be cut into a few smaller pieces then arranged into the smallest volume. Packing and scheduling of vessels through multiple stages of river locks, where the vessels are modelled as rectangles and the locks as containers. Finally, the reconstruction of pre-Hispanic farm plots on an archaeological site in Mexico. Here ancient codices hold measurement data of the plots but not their relative arrangement. These are all curious and diverse examples, which indicates that there are many fascinating applications we can explore.

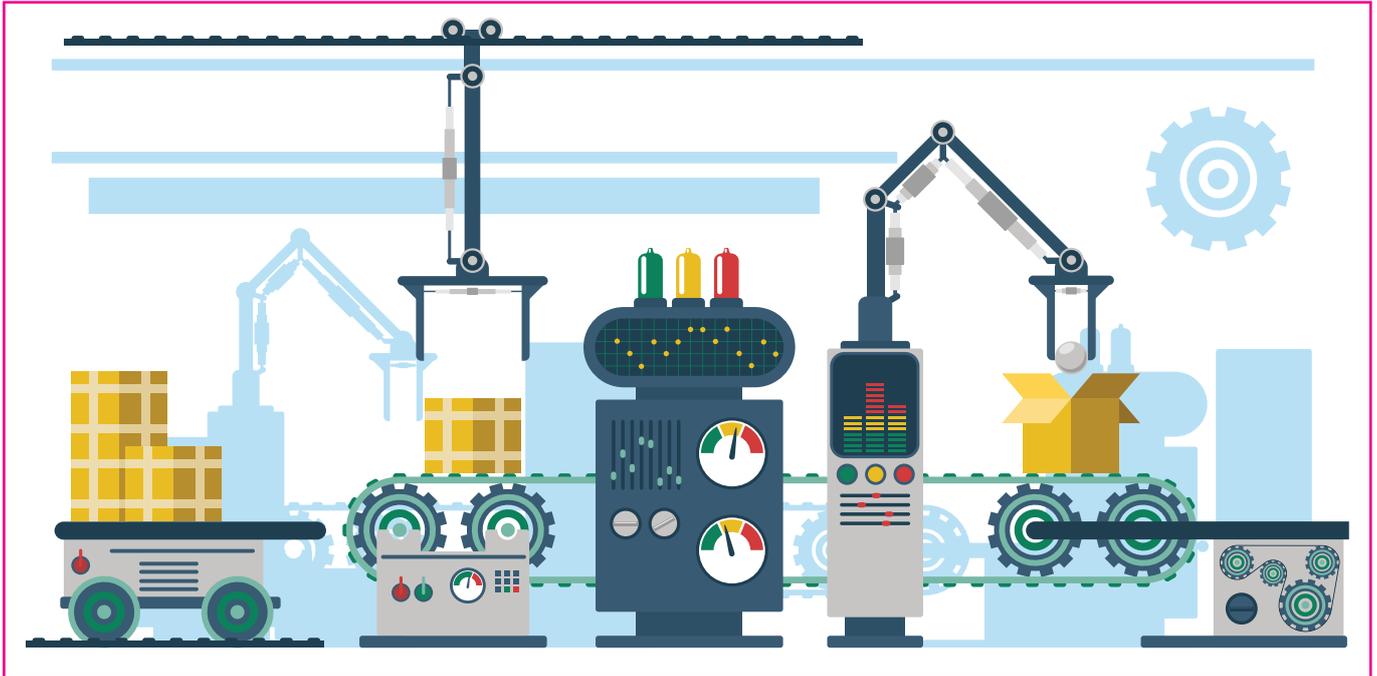
Which are, in your opinion, the main challenges or unanswered questions in this field?

There is still plenty of scope for further work in cutting and packing. On the classical problems, particularly two- and three-dimensional problems with multiple containers, we are still unable to solve problems of practical size to optimality in reasonable time. The key to this is good bounds, which is a key unanswered question. Three-dimensional irregular packing is also in its infancy. Beyond the classical problems, there are new frontiers in the area of online problems, uncertainty in data and disruption management and recovery. Another set of problems considers the assortment of



JULIA BENNELL

Executive Dean of Leeds
University Business School
J.Bennell@leeds.ac.uk



stocksheet or container sizes held for use, these can be expanded by holding usable leftovers from a cutting process, which quickly leads us to multi-period problems. Finally, we have only quite recently begun to explore extending the cutting and packing problem into connected domain to optimise across more of the system, such as cutting and scheduling or packing and routing. These are all very real challenges that have not been adequately addressed in the literature.

You are the chair and co-ordinator of the European Working group in Cutting and Packing (EWG ESICUP), a group that was founded in 1988 and has around 600 members. Can you elaborate on the main past and future activities of this EWG?

Our main activities are to meet annually as a group to hold a workshop and to organise a cutting and packing stream at the EURO and IFORS conferences. While the focus is to present our ongoing research, I would argue the primary purpose is much more than that. It is where we build our broader understanding that helps further our research,

develop working relationships and friendships and, as a bonus, further our career through network opportunities. For me the ESICUP meeting became the most important and enjoyable conference. While it does not have the reputation of the large international conferences, it is the one I find most useful.

Looking at the “plant of the future”, new challenges have been increasingly arising, such as a transition to sustainable, human-centric and resilient industries. What is, in your opinion, the role of OR researchers on this regard?

I am confident that OR has a huge amount to offer as we transition towards a more sustainable use of our planet’s resources and focus more on creating societal value than shareholder value. Taking my area of specialism, optimisation, arguably it is agnostic to what is being optimised. We are maximising value or minimising cost, whether that is financial or environmental is a matter of data and formulation. So we can adapt. However, there are many greater opportunities for OR. By definition the purpose of OR is to solve real

world problems with scientific thinking and there is no greater real world problem than the climate emergency. Moreover, OR has tools for tackling the messy problems through problem structuring and the interconnected problems through systems thinking. Using these types of tools we can help support organisations to embrace the shift to a more empathetic world. OR was invented in a time of crisis and as a profession we are well placed to step up to the new one.

“OR HAS A HUGE AMOUNT TO OFFER AS WE TRANSITION TOWARDS A MORE SUSTAINABLE USE OF OUR PLANET’S RESOURCES AND FOCUS MORE ON CREATING SOCIETAL VALUE THAN SHAREHOLDER VALUE”

GESTÃO DA PRODUÇÃO: PASSADO, PRESENTE E ... FUTURO?

A grande maioria dos objetos com os quais interagimos diariamente são resultado de um processo de fabricação. Isto é válido tanto para produtos altamente complexos, como o nosso automóvel ou computador, como para produtos mais simples, como a roupa que vestimos ou a mesa onde fazemos as nossas refeições.

Na realidade, o Homem sempre fabricou/produziu artefactos. Esta característica será, em grande parte, o motivo para o seu ascendente sobre outras espécies, inclusivamente sobre aquelas que eram mais fortes, mais rápidas e, de um modo genérico, mais adaptadas ao seu ambiente. Alguns processos ainda hoje utilizados para a produção de objetos eram já conhecidos pelos nossos antepassados na pré-história: o corte, para obtenção de objetos por remoção de material; a união de componentes para obtenção de um novo produto ou a moldagem.

A Revolução Urbana conduziu a um grande incremento da atividade de produção por parte da humanidade. Esse incremento deveu-se à necessidade de desenvolver um conjunto de novas ferramentas para apoiar as tarefas agrícolas. Além disso, a utilização de novos

materiais, como o bronze e, mais tarde o ferro, obrigou à utilização de processos de transformação muito mais complexos e difíceis de controlar do que os necessários para lidar com materiais como a pedra e a madeira, levando ao aparecimento da especialização do trabalho e, conseqüentemente, dos primeiros artesãos. Este incremento de produção foi também impulsionado pelas tecnologias que surgem na antiguidade, como as alavancas, guinchos, e roldanas e sobretudo os moinhos que permitiram quebrar limitações de energia. A queda do Império Romano deu origem à Idade Média durante a qual se verificou uma rápida evolução social. Durante essa era surgiram várias técnicas que aumentaram a produção de alimentos. Apesar das constantes guerras e doenças, estima-se que durante a Idade Média a produção alimentar aumentou mais de 50%, permitindo que cada vez mais pessoas se concentrassem noutras atividades. Isso levou à ascensão social dos artesãos que se organizaram em corporações que dominavam a produção. A produtividade aumentou, mas a fabricação ainda era feita em pequena escala, por grupos de cerca de uma dúzia de pessoas que trabalhavam em conjunto. Esses grupos eram constituídos pelo artesão-mestre que liderava os jornaleiros e aprendizes.

O Século XVI trouxe uma nova alteração social considerável. As cidades organizaram-se em estados e os fundamentos da ciência moderna foram lançados. Foram introduzidas inovações tecnológicas que permitiram aumentar a produtividade, sobretudo nos setores mais vigorosos da época, a produção de alimentos e o setor têxtil. No entanto, para a produtividade, mais importante que a melhoria das tecnologias de produção foram as alterações nos métodos de gestão da produção. Com efeito, o início da Idade Moderna vê surgir as primeiras fábricas na Europa. Essas fábricas vão juntar, no mesmo local, centenas de operários a trabalhar sob a direção de uma gestão única. Esta nova estrutura de produção acarreta várias vantagens: torna possível a divisão do trabalho e o recurso a mão de obra menos qualificada; os níveis de produção, e conseqüentemente de consumo de matérias primas, aumentam consideravelmente promovendo uma redução de custos; os empreendedores que instalam as fábricas, ao contrário do mestre-



CRISTOVÃO SILVA

Departamento de Engenharia Mecânica,
Universidade de Coimbra
cristovao.silva@dem.uc.pt

**“(…) O HOMEM SEMPRE
FABRICOU/PRODUZIU
ARTEFACTOS. (…) ALGUNS
PROCESSOS AINDA HOJE
UTILIZADOS PARA A
PRODUÇÃO DE OBJETOS
ERAM JÁ CONHECIDOS
PELOS NOSSOS
ANTEPASSADOS
NA PRÉ-HISTÓRIA”**

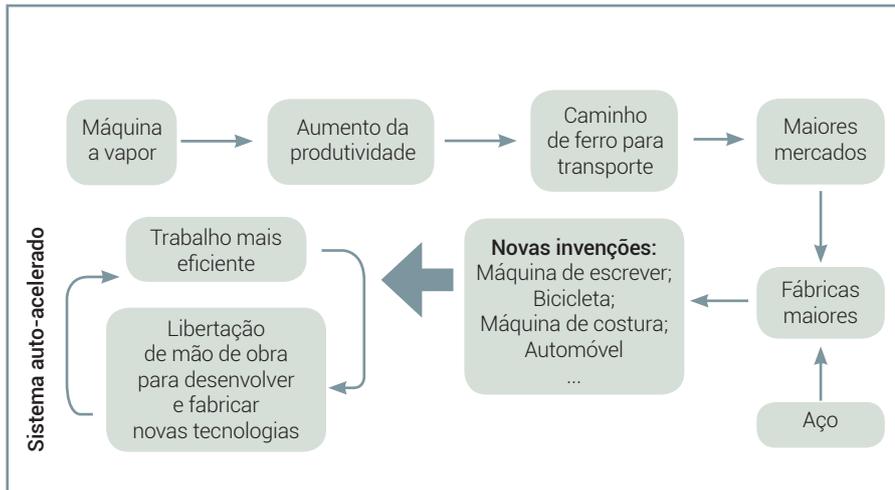


Fig. 1 - Inovações tecnológicas resultantes da invenção da máquina a vapor.

-artesão, têm um bom sentido para o negócio, e o aumento da escala de produção começa a trazer preocupações com a sua melhoria; são criados fluxos de materiais que circulam através dos vários estágios de produção, levando à redução de stocks e, conseqüentemente, à redução do espaço necessário e libertando recursos financeiros para outros fins e, finalmente, o controlo dos operários e das suas tarefas é simplificado. Não é, pois, de estranhar que as fábricas tenham conduzido ao fim do domínio dos artesãos e das suas corporações sobre a produção. É surpreendente verificar que algumas empresas criadas nesta época subsistiram até aos dias de hoje, como a fábrica de cerâmica criada por Josiah Wedgwood no Século XVIII e que ainda hoje é uma das marcas de cerâmica mais conhecida no mundo, a *Josiah Wedgwood and Sons*, ou a fábrica de papel dos irmãos Montgolfier que integra hoje o grupo *Canson*. Estes pioneiros da indústria introduziram várias inovações na forma de gerir os seus negócios: o controlo dos horários de trabalho, a divisão do trabalho, a preocupação com a gestão dos fluxos, registos de custos e introdução de métodos para a sua redução e regras para a contratação e remuneração dos operários.

Ainda assim, estas fábricas eram muito diferentes das que conhecemos hoje. O grande salto para a fabricação como ela é hoje conhecido deveu-se à invenção da máquina a vapor. Esta, mais do que qualquer outra inovação, foi

responsável por aquilo que ficou conhecido como a Revolução Industrial. A máquina a vapor foi patenteada em 1698, mas só em 1712 foi possível converter o vapor em movimento mecânico. A máquina a vapor foi consideravelmente melhorada por James Watt e em 1779 já permitia a obtenção de um movimento de rotação, tão útil para os processos de fabrico. Em 1850, só em Inglaterra, existiam já cerca de 1000 máquinas a vapor instaladas que tinham à data uma potência de cerca de 50 cavalos. Em 1870 já existiam mais máquinas a vapor que moinhos de água e em 1884 a potência destes equipamentos tinha subido para uns impressionantes 130000 cavalos.

A máquina a vapor promoveu uma alteração substancial da produção ao providenciar uma fonte de potência escalável e disponível em qualquer localização geográfica, ao contrário dos moinhos que implicavam a instalação das fábricas junto a cursos de água. Combinada com a mecanização, a máquina a vapor trouxe aumentos de produtividade sem precedentes. No fim do Século XVII, estas inovações permitiram que as fábricas têxteis fossem capazes de produzir enormes quantidades de roupa que excediam largamente a procura local.

Este problema foi ultrapassado com o aparecimento do comboio, também ele fruto da invenção da máquina a vapor. Com efeito, o comboio permitiu que a distribuição dos bens produzidos nas fábricas pudesse atingir novos mercados, mais afastados dos locais de

produção. As conseqüências do aparecimento do comboio foram: custos de transporte mais baixos, que permitiram mercados de maior dimensão, que levaram a fábricas maiores e a economias de escala. Será justo dizer que a máquina a vapor lançou as bases para um novo conjunto de indústrias, criando uma espiral de inovações tecnológicas que pode ser representada pela fig. 1.

Foi este sistema, despoletado pela máquina a vapor, que levou ao desenvolvimento da indústria e da produção como ela é hoje conhecida. Desde a sua invenção muitos desenvolvimentos ocorreram. Sem pretender ser exaustivo, referem-se alguns dos que maior impacto tiveram sobre os sistemas produtivos: O aço e as máquinas/ferramentas mais precisas, que permitiram o desenvolvimento de componentes normalizados e, conseqüentemente, intermutáveis; a eletricidade que providenciou uma fonte de energia altamente flexível e versátil; novas tecnologias para o trabalho do metal – extrusão, fundição, fresadoras; novos materiais com destaque para o plástico e o alumínio; soldadura; métodos de aperto normalizados (parafusos e porcas); vulcanização, máquinas de injeção; computadores, máquinas CNC (do

“[NA IDADE MÉDIA] A PRODUTIVIDADE AUMENTOU, MAS A FABRICAÇÃO AINDA ERA FEITA EM PEQUENA ESCALA (...) MAIS IMPORTANTE QUE A MELHORIA DAS TECNOLOGIAS DE PRODUÇÃO FORAM AS ALTERAÇÕES NOS MÉTODOS DE GESTÃO DA PRODUÇÃO “



inglês Computer Numeric Control) e robôs industriais.

Todas estas inovações tecnológicas contribuíram fortemente para o desenvolvimento da indústria, mas o seu efeito sobre a produtividade foi potenciado pela evolução dos métodos de planeamento e controlo da produção que só surgiram verdadeiramente no final do Século XIX. Até aí, a coordenação do trabalho era essencialmente baseada na experiência: os salários eram fixados tão baixo quanto possível, as quantidades produzidas dependiam muito do estado de espírito e vontade do operário, os poucos elementos matemáticos presentes limitavam-se a regras básicas de contabilidade e as relações entre trabalho, tempo e custo, eram pouco compreendidas.

Este panorama iria mudar com o trabalho pioneiro do Frederick Taylor considerado, justamente, o pai da Gestão Científica. O seu trabalho foi extenso e apresentado num livro que vendeu milhões de exemplares. No entanto, ele pode ser sintetizado em quatro princípios: (1) substituir as regras baseadas na experiência ou intuição por métodos baseados num estudo científico das tarefas a executar; (2) seleccionar, treinar e desenvolver os operários de uma forma científica; (3) providenciar instruções de trabalho detalhadas e supervisão a cada operário e (4) dividir o trabalho entre os gestores, que devem aplicar os princípios da gestão científica para planear o trabalho, e os

operários que o devem executar. O trabalho de Frederick Taylor lançou as bases para a gestão científica do chão de fábrica e teve tal importância que chegou aos currículos universitários. Muitos investigadores continuaram a desenvolver métodos para a gestão do chão de fábrica no início do Século XX. Mais uma vez sem pretender ser exaustivo podem destacar-se alguns nomes: Henry Gantt que chegou a ser assistente e continuou o trabalho de Frederick Taylor, tendo ficado conhecido pelo seu diagrama para visualização dos passos de um projeto; o casal Gilbreth que lançou as bases para o estudo de movimentos, estudou a fadiga humana e lançou a psicologia industrial, cujo trabalho pode ser visto como precursor da ergonomia; Elton Mayo que trabalhou no campo das relações humanas em ambiente industrial; Walter Shewart que trouxe a preocupação com a qualidade para o chão de fábrica com o controlo estatístico dos processos e Agner Erlang que lançou as bases da teoria das filas de espera. No que concerne o início do Século XX será justo ainda destacar o trabalho de Henry Ford que desenvolveu o conceito de linha de montagem, permitindo a produção em massa de produtos complexos. A Segunda Guerra Mundial trouxe novos desenvolvimentos ao setor industrial motivados por 3 grandes fatores: a falta de mão-de-obra, necessária para fazer face às necessidades da indústria de guerra; a falta de competências

para responder às rápidas mudanças tecnológicas no setor da aviação e o aumento de complexidade dos problemas. Para fazer face a estes problemas surgem três programas para aumentar a produção apesar dos recursos limitados: Training Within Industry (TWI), que procurava acelerar e normalizar os programas de formação de operários, o que levou ao desenvolvimento de instruções de trabalho, gestão visual e melhoria dos métodos de trabalho; o Controlo Estatístico do Processo (SPC), para a melhoria da qualidade dos produtos, com particular destaque na indústria aeronáutica e a Investigação Operacional, que levou ao desenvolvimento de métodos analíticos para suportar a tomada de decisões.

Muitos dos desenvolvimentos conseguidos durante a Segunda Guerra Mundial foram “esquecidos” nos Estados Unidos devido ao forte desenvolvimento económico que se seguiu à guerra. Estes, no entanto, foram importados e desenvolvidos pelo Japão nos anos 60 do Século XX, dando origem ao Toyota Production System (TPS). Essa abordagem à gestão do chão de fábrica recupera e desenvolve conceitos como o SPC, transformando-o no Total

“NO FIM DO SÉCULO XVII [AS] INOVAÇÕES TECNOLÓGICAS CONTRIBUÍRAM FORTEMENTE PARA O DESENVOLVIMENTO DA INDÚSTRIA, MAS O SEU EFEITO SOBRE A PRODUTIVIDADE FOI POTENCIADO PELA EVOLUÇÃO DOS MÉTODOS DE PLANEAMENTO E CONTROLO DA PRODUÇÃO QUE SÓ SURTIRAM VERDADEIRAMENTE NO FINAL DO SÉCULO XIX”

“A SEGUNDA GUERRA MUNDIAL TROUXE NOVOS DESENVOLVIMENTOS AO SETOR INDUSTRIAL [TENDO SURGIDO] TRÊS PROGRAMAS PARA AUMENTAR A PRODUÇÃO APESAR DOS RECURSOS LIMITADOS: TRAINING WITHIN INDUSTRY (...), O CONTROLO ESTATÍSTICO DO PROCESSO (...) E A INVESTIGAÇÃO OPERACIONAL (...)”

Quality Management e o TWI, sendo aperfeiçoadas as instruções de trabalho e aplicação da gestão visual. Esta abordagem, impulsionada por Taichi Ohno, considera ainda várias metodologias ainda hoje em vigor em muitas organizações industriais: o princípio de supermercado, o sistema Kanban, a melhoria contínua, o ritmo de produção marcado pelo Tak Time ou os programas de mudança rápida de série. O sucesso do TPS foi tal que ele se espalhou rapidamente por organizações industriais e de serviços de todo o mundo.

Muitas outras coisas aconteceram no último quarto do século XX e impulsionaram a área da Gestão da Produção. O Material Requirement Planning (MRP) e seus sucessores (Manufacturing Resource Planning - MRP II,

Business Process Re-engineering - BPR e Enterprise Resource Planning - ERP) impulsionados pelo rápido desenvolvimento dos computadores; novas abordagens à gestão dos fluxos no chão de fábrica como a Teoria dos Constrangimentos, o “Constant Work in Progress” (ConWIP) ou o “Quick Response Manufacturing” ,para nomear apenas alguns, e o desenvolvimento da qualidade com o programa 6 Sigma.

Todos os desenvolvimentos referidos ao longo deste artigo, trouxeram-nos à indústria e à sua gestão como a conhecemos hoje. Mas a história não pára e somos confrontados com novos problemas: a necessidade de aumentar a flexibilidade dos processos, a necessidade de ser capaz de responder mais rapidamente aos mercados, a necessidade de repensar as relações laborais que serão inevitavelmente alteradas pelos rápidos desenvolvimentos tecnológicos em curso e, não menos importante, a necessidade de continuar a melhorar os processos de tomada de decisão em ambiente industrial. Além destes desafios somos ainda confrontados com o rápido surgimento de novas tecnologias que não deixarão de ter impacto sobre a forma como fabricamos produtos: a impressão 3D, a Internet das Coisas ou de um modo mais genérico a digitalização da indústria, o desenvolvimento da robótica colaborativa e a capacidade de obter enormes quantidades de dados em tempo real.

Estas evoluções, que deram origem ao conceito de Indústria 4.0, não deixarão de constituir um enorme desafio para a comunidade científica preocupada com esta área da Gestão da Produção. Tal como os componentes intermutáveis permitiram o desenvolvimento da linha de montagem, será necessário pensar nas alterações que serão induzidas nos sistemas produtivos pelas tecnologias emergentes. Será ainda necessário adequar os métodos de gestão da produção existentes aos novos desafios enfrentados pela indústria e para tirar proveito do potencial das novas tecnologias. Finalmente, mas não menos importante, é fundamental continuar o esforço de formação das novas gerações, garantindo que os princípios básicos de um sistema produtivo são devidamente compreendidos: os fluxos de materiais e informação e a sua relação com a capacidade, o efeito da variabilidade sobre stocks e output;

as noções de sequenciamento, despacho e balanceamento de carga ou o conceito de desperdício. Estes, e outros princípios básicos, não mudam e qualquer tentativa de evolução que não seja suportada por uma compreensão profunda dos seus efeitos estará destinada ao fracasso.

NOTA: Este artigo foi inspirado pelo livro “Faster, Better, Cheaper: In the history of manufacturing”, de Christoph Roser, cuja leitura se aconselha a quem queira conhecer melhor a evolução da produção ao longo da história da humanidade.

“(...) SOMOS CONFRONTADOS COM NOVOS PROBLEMAS (...) [E] O RÁPIDO SURGIMENTO DE NOVAS TECNOLOGIAS (...): A IMPRESSÃO 3D, A INTERNET DAS COISAS (...), O DESENVOLVIMENTO DA ROBÓTICA COLABORATIVA E A CAPACIDADE DE OBTEN ENORMES QUANTIDADES DE DADOS EM TEMPO REAL. (...) ESTAS EVOLUÇÕES, QUE DERAM ORIGEM AO CONCEITO DE INDÚSTRIA 4.0, NÃO DEIXARÃO DE CONSTITUIR UM ENORME DESAFIO PARA A COMUNIDADE CIENTÍFICA PREOCUPADA COM ESTA ÁREA DA GESTÃO DA PRODUÇÃO”

MATHEURÍSTICAS HEURÍSTICAS, METAHEURÍSTICAS E PROGRAMAÇÃO MATEMÁTICA

A prática corrente da investigação no domínio da resolução de problemas de otimização combinatória é muito bem resumida por Martina e Matteo Fischetti em [6]. O primeiro passo consiste normalmente em formular o problema através de um modelo de programação matemática que é submetido de seguida a um *solver* de otimização. Se este consegue resolver o problema para instâncias de média ou grande dimensão em tempos razoáveis, o modelo é adotado. Caso contrário, a investigação prossegue por um de dois caminhos. O primeiro passa por melhorar o modelo reforçando-o com recurso a ferramentas de programação matemática como as decomposições ou os planos de corte. O segundo consiste em descartar pura e simplesmente o modelo, e avançar com o desenvolvimento de um algoritmo heurístico próprio. As *matheurísticas* surgem aqui como alternativa a esta abordagem clássica. A ideia é usar os modelos de programação matemática tirando partido das suas propriedades no contexto da execução de um procedimento heurístico.

Em [2], Marco Boschetti e co-autores definem as *matheurísticas* como sendo algoritmos heurísticos baseados na cooperação entre metaheurísticas e técnicas de programação matemática. Os progressos registados no do-

mínio da programação matemática que resultaram na disponibilidade de uma vasta gama de ferramentas, aliados ao aumento contínuo das capacidades computacionais, fizeram das *matheurísticas* uma alternativa viável e popular. A ilustrá-lo está o número de artigos publicados na literatura que descrevem *matheurísticas* para os mais diversos problemas na área da logística, da gestão da produção, do planeamento de serviços de saúde, e da definição de horários, por exemplo. Essa produtividade levou já vários autores a propor formas de classificar estas contribuições. É o caso de Michael Ball [1], Jakob Puchinger e Günther Raidl [14], Irina Dumitrescu e Thomas Stützle [5] e El-Ghazali Talbi [13, 14]. O primeiro agrupa as *matheurísticas* desenvolvidas até então nas classes seguintes:

- as abordagens de decomposição,
- as heurísticas de melhoria,
- as abordagens que usam programação matemática para gerar soluções aproximadas,
- as abordagens baseadas em relaxações.

As abordagens de decomposição dividem o problema em subproblemas que são resolvidos em sequência e de forma exata. As heurísticas de melhoria procuram soluções de melhor qualidade em vizinhanças de grande dimensão usando técnicas de programação matemática. A terceira classe inclui métodos como os de partição e avaliação e de geração de colunas cuja execução é simplificada para obter rapidamente soluções de boa qualidade. Por fim, a última classe agrupa as abordagens que usam a solução de uma relaxação do modelo matemático para a partir dela gerar soluções válidas aproximadas.

Puchinger e Raidl [12] classificam as *matheurísticas* em função da forma como interagem as metaheurísticas e os métodos exatos usados. Distinguem as abordagens ditas colaborativas das integradas. As *matheurísticas* colaborativas são constituídas por métodos que operam de forma independente, em sequência ou em paralelo, partilhando informação entre si. Nas abordagens integradas, um dos métodos (exato ou heurístico) é sub-parte do outro que depende assim do primeiro para a sua própria execução.



CLÁUDIO ALVES

Departamento de Produção
e Sistemas,
Escola de Engenharia
Universidade do Minho
claudio@dps.uminho.pt

**“A IDEIA [DAS
MATHEURÍSTICAS] É
USAR OS MODELOS
DE PROGRAMAÇÃO
MATEMÁTICA TIRANDO
PARTIDO DAS SUAS
PROPRIEDADES NO
CONTEXTO DA EXECUÇÃO
DE UM PROCEDIMENTO
HEURÍSTICO”**

“NAS ABORDAGENS INTEGRADAS, UM DOS MÉTODOS (EXATO OU HEURÍSTICO) É SUB-PARTE DO OUTRO QUE DEPENDE ASSIM DO PRIMEIRO PARA A SUA PRÓPRIA EXECUÇÃO”

A revisão de literatura de Dumitrescu e Stützle [5] concentra-se nas abordagens que integram métodos exatos em procedimentos de pesquisa local. Estes autores identificam cinco formas genéricas de interação usadas em *metaheurísticas* descritas na literatura. A mais comum, também destacada por Ball [1], consiste em explorar vizinhanças de grande dimensão através de métodos exatos na expectativa de encontrar soluções de boa qualidade em menos iterações. Outra consiste em resolver de forma exata subproblemas relacionados com o processo de pesquisa local com o objetivo, por exemplo, de diversificar ou intensificar a pesquisa. O recurso a estratégias de partição e avaliação em metaheurísticas e heurísticas construtivas, o uso de relaxações de modelos de programação matemática para guiar a pesquisa local, e a resolução exata de subproblemas definidos a partir de soluções de boa qualidade são outras formas de integração identificadas em [5].

A taxonomia introduzida por Talbi em [13, 14] acaba por ser a mais abrangente uma vez que considera também a combinação de metaheurísticas com abordagens de programação por restrições e *machine learning*.

OS DOIS SENTIDOS DA HIBRIDAÇÃO

Como vários autores têm o cuidado de lembrar, a ideia de transformar um método exato numa heurística simplificando alguns aspectos do seu funcionamento, ou terminando a sua execução antes de se atingir a solução ótima, e de provar a otimalidade da mesma, está longe de ser nova. Como também não o é a ideia de acoplar uma abordagem exata a uma metaheurística (ou vice-versa) para melhorar uma dada solução, ou construir/pesquisar uma solução válida de boa qualidade. Os procedimentos de arredondamento das soluções obtidas através da relaxação linear de um modelo de Programação Inteira (PI), o cálculo de soluções iniciais através de procedimentos heurísticos usadas posteriormente em modelos de geração de colunas são exemplos antigos de hibridações deste tipo. Ao invés destas estratégias colaborativas, as abordagens integradas de hibridação são normalmente menos triviais e também as que envolvem maior grau de inovação. Nesta secção, exploramos brevemente as ideias associadas a algumas das principais abordagens integradas.

ABORDAGENS EXATAS EM METAHEURÍSTICAS

Como foi referido acima, uma das estratégias de hibridação mais usadas consiste em explorar vizinhanças de grande dimensão usando métodos exatos (e nomeadamente de PI) em procedimentos de pesquisa local. Essas vizinhanças podem ser definidas através do espaço de soluções do subproblema que é obtido fixando o valor de algumas variáveis do problema original, tendo em conta a estrutura da solução incumbente assim como a relação entre as variáveis. Em [11], Ramon Lopes e co-autores descrevem uma abordagem desse tipo para um problema de reafetação de tarefas em máquinas proposto no quadro do Google ROADEF/EURO Challenge de 2012. O problema consiste em determinar como devem ser realocadas um conjunto de tarefas por várias máquinas de modo a otimizar a sua utilização salvaguardando um conjunto de condições operacionais que incluem restrições de capacidade e de serviço. Os autores descrevem várias heurísticas baseadas no método de pesquisa local iterativa em que o passo de “perturbação” da solução que caracteriza estes métodos é efetuado através da resolução

de um modelo de PI que é definido fixando o valor de algumas das variáveis do problema original. Pré-determinam assim a máquina onde algumas tarefas irão ser processadas, reduzindo o tamanho da instância a resolver. Outra estratégia popular de integração de abordagens exatas em metaheurísticas é o recurso a relaxações de modelos de Programação Inteira Mista (PIM) para orientar a pesquisa concentrando-a em determinadas regiões do espaço de soluções. As heurísticas propostas por Christophe Wilbaut e Saïd Hanafi [15] para problemas de PIM com variáveis binárias ilustram o potencial das abordagens que tiram partido da informação fornecida por estas relaxações. Estes autores definem vários procedimentos heurísticos genéricos baseados na atualização iterativa de limites inferiores e superiores através da resolução de relaxações lineares do modelo e de relaxações de PIM, e de problemas “reduzidos” obtidos fixando o valor de algumas variáveis o que lhes permite intensificar a pesquisa numa área específica do espaço de soluções. A definição das relaxações em iterações sucessivas recorrendo em alguns casos a cortes garantem por seu lado a diversificação da pesquisa. Em [8], Fred Glover revisita as ideias apresentadas por Wilbaut e Hanafi em [15], e propõe novos cortes que dominam os destes autores.

METAHEURÍSTICAS EM ABORDAGENS EXATAS

As metaheurísticas são usadas de várias formas para melhorar a convergência dos algoritmos de PI. A mais simples consiste em procurar soluções melhores do que a incumbente através de procedimentos heurísticos em métodos de partição e avaliação, que permitam reduzir o intervalo de otimalidade nos nodos da árvore de pesquisa, e descartar assim mais rapidamente partes não promissoras da árvore. Os métodos baseados em planos de corte e em geração de colunas têm beneficiado também da hibridação com abordagens heurísticas. Também aqui, várias formas de integração são frequentemente usadas. Em modelos de geração de colunas, os subproblemas de *pricing* que são resolvidos para identificar variáveis atrativas podem ser resolvidos através de heurísticas. Contudo, não havendo prova de otimalidade, será sempre necessário usar em última instância um método exato para

garantir que é encontrada a solução ótima do problema mestre. Existem também vários registros na literatura de algoritmos de partição e avaliação com cortes em que os planos de corte são determinados através de uma ou mais heurísticas. Outra estratégia aplicável a métodos de partição e avaliação é a chamada partição heurística usada, por exemplo, em [3] no quadro da resolução de problemas de planeamento de rotas de aviões e escalonamento das respetivas tripulações. No caso descrito nesse artigo, o algoritmo não explora necessariamente todos os ramos da árvore de pesquisa para evitar de ter de resolver subproblemas de *pricing* que se tenham tornado demasiado complicados por causa das restrições de partição. Em vez disso, o algoritmo orienta-se para uma pesquisa em profundidade concentrando-se em restrições de partição mais simples de incorporar no modelo, o que tem por efeito transformar o algoritmo num procedimento heurístico.

A questão da seleção do próximo nodo a ser explorado em métodos de partição e avaliação foi também abordado com técnicas de hibridação por Konstantinos Kotsikas e Charalambos Fragakis em [10]. Estes autores usaram programação genética para determinar regras alternativas de seleção de nodos que têm em conta vários aspetos da definição do problema

e das soluções que vão sendo encontradas ao longo da árvore. Em [16], Daniel Wojtaszek e John Chinneck retomam esta temática propondo novas heurísticas e sugerindo pistas para desenvolvimentos futuros.

A TERCEIRA VIA: AS METAHEURÍSTICAS BASEADA S EM ABORDAGENS EXATAS

A forma de hibridação que envolve maior grau de integração está associada aos procedimentos genéricos que reproduzem estratégias próprias de alguns métodos exatos. É o caso do esquema de partição local proposto por Matteo Fischetti e Andrea Lodi em [7]. A abordagem proposta por estes autores baseia-se no método de partição e avaliação para problemas de PIM. Nos nodos da árvore de pesquisa, em vez de serem explorados espaços de soluções definidos através de regras de partição tradicionais, o espaço de soluções é dividido de modo a incluir uma determinada vizinhança da solução corrente. A pesquisa prossegue da mesma forma pelo ramo associado ao subproblema com a vizinhança mais restrita, e assim sucessivamente até que não seja encontrada nenhuma solução melhor do que a atual incumbente. Nesse caso, a pesquisa é retomada a partir de um nodo deixado pendente. Como defendem Fischetti e Lodi, o esquema de partição local conduz na prática

a um método exato de otimização. Contudo, a facilidade de o integrar noutras metaheurísticas de pesquisa local, como mostraram Pierre Hansen e co-autores em [9] para o caso da pesquisa em vizinhanças variáveis, tornam-no num *framework* genérico de hibridação de abordagens de partição e avaliação com métodos de pesquisa local.

Em paralelo com Fischetti e Lodi, Emilie Danna e co-autores [4] propuseram uma abordagem que designaram por *pesquisa em vizinhanças induzidas por relaxações* que permite resolver modelos genéricos de PIM usando um procedimento de partição e avaliação onde se exploram vizinhanças baseadas na solução incumbente e na solução da relaxação linear do modelo. As vizinhanças são definidas nos nodos da árvore de pesquisa fixando o valor de algumas das variáveis. Os autores reportam resultados que superam os alcançados com o esquema de partição local. Na prática, se essa abordagem difere da partição local em alguns aspetos de detalhe, ambos os métodos partilham os mesmos princípios de fundo no que toca à estratégia de hibridação. Salientamos também por fim a proximidade entre estas abordagens e outras de hibridação aludidas acima, nomeadamente a pesquisa em vizinhanças de grande dimensão e os métodos baseados na resolução iterativa de relaxações de modelos de PIM.

REFERÊNCIAS

- [1] Ball, M. (2011). *Heuristics based on mathematical programming*. *Surveys in Operations Research and Management Science*, 16(1):21-38.
- [2] Boschetti, M., Maniezzo, V., Roffilli, M., & Bolufé Röhler, A. (2009). *Matheuristics: Optimization, Simulation and Control*. In: Blesa M.J., Blum C., Di Gaspero L., Roli A., Sampels M., Schaerf A. (eds) *Hybrid Metaheuristics. HM 2009. Lecture Notes in Computer Science*, vol 5818. Springer.
- [3] Cordeau, J-F, Stojkovic, G., Soumis, F., & Desrosiers, J. (2001). *Benders decomposition for simultaneous aircraft routing and crew scheduling*. *Transportation Science*, 35:375–388.
- [4] Danna, E., Rothberg, E., & Pape, C. (2005). *Exploring relaxation induced neighborhoods to improve MIP solutions*. *Mathematical Programming*, 102:71–90.
- [5] Dumitrescu, I. & Stützle T. (2009). *Usage of Exact Algorithms to Enhance Stochastic Local Search Algorithms*. In: Maniezzo V, Stützle T, Voß S. (eds) *Matheuristics. Annals of Information Systems*, vol 10. Springer.
- [6] Fischetti, M. & Fischetti, M. (2016). *Matheuristics*. In: Martí R., Panos P., Resende M. (eds) *Handbook of Heuristics*. Springer.
- [7] Fischetti, M. & Lodi, A. (2003). *Local branching*. *Mathematical Programming*, 98:23–47.
- [8] Glover F. (2008). *Inequalities and target objectives for metaheuristic search – part i: Mixed binary optimization*, in: P. Siarry, Z. Michalewicz (Eds.), *Advances in Metaheuristics for Hard Optimization, Natural Computing Series*, Springer Verlag, pp. 439–474.
- [9] Hansen, P., Mladenovic, N. & Urošević D. (2006). *Variable neighborhood search and local branching*. *Computers and Operations Research*, 33(10), 3034–3045.
- [10] Kostikas, K. & Fragakis, C. (2004). *Genetic programming applied to mixed integer programming*. In M. Keijzer et al., editors, *Genetic Programming - EuroGP 2004*, volume 3003 of LNCS, pp. 113–124. Springer.
- [11] Lopes, R., Morais, V., Noronha, T., & Souza, V. (2014). *Heuristics and matheuristics for a real-life machine reassignment problem*. *International Transactions in Operational Research*, 22(1):77–95.
- [12] Puchinger, J. & Raidl, G. (2005). *Combining Metaheuristics and Exact Algorithms in Combinatorial Optimization: A Survey and Classification*. In: Mira J., Álvarez J.R. (eds) *Artificial Intelligence and Knowledge Engineering Applications: A Bioinspired Approach. IWINAC 2005. Lecture Notes in Computer Science*, vol 3562. Springer.
- [13] Talbi E. (2016). *Combining metaheuristics with mathematical programming, constraint programming and machine learning*. *Annals of Operations Research*, 240:171–215.
- [14] Talbi E. (2013). *A Unified Taxonomy of Hybrid Metaheuristics with Mathematical Programming, Constraint Programming and Machine Learning*. In: Talbi E. (eds) *Hybrid Metaheuristics. Studies in Computational Intelligence*, vol 434. Springer.
- [15] Wilbaut, C. & Hanafi, S. (2009) *New convergent heuristics for 0–1 mixed integer programming*. *European Journal of Operational Research*, 195(1):62–74.
- [16] Wojtaszek, D. & Chinneck, J. (2010). *Faster MIP solutions via new node selection rules*. *Computers and Operations Research*, 37(9):1544–1556.

PLANEAMENTO DE LONGO PRAZO DA PRODUÇÃO DA TEORIA À PRÁTICA E OS DESAFIOS FUTUROS



LUIS GUIMARÃES

INESC TEC, Faculdade de Engenharia,
Universidade do Porto
lguimaraes@fe.up.pt

O planeamento de produção é uma atividade fulcral para a otimização da cadeia de abastecimento. Estes importantes e desafiantes problemas têm como objetivo definir a forma mais eficiente de adquirir, utilizar e alocar recursos produtivos de forma a transformar a matéria-prima em produtos acabados satisfazendo as exigências dos clientes. O foco de eficiência pode basear-se numa escala de tempo e/ou de custos e as decisões cruzam vários níveis de decisão - desde um nível estratégico que é revisto numa lógica plurianual, passando pelos planos táticos criados para os meses seguintes, e terminando no planeamento semanal/diário que ocorre a nível operacional. Os planos geralmente abordam o nivelamento da força de trabalho, a determinação dos requisitos de horas extraordinárias, o tamanho do lote e a sequência de produção.

Com os avanços nas tecnologias de informação e a generalização dos sistemas de planeamento de recursos empresariais (ERP), os dados relevantes para os problemas de planeamento de produção tornaram-se amplamente disponíveis na maioria das empresas, o que facilita a utilização de sistemas de apoio à decisão baseados em modelos analíticos avançados. Os sistemas avançados de planeamento (APS) têm como propósito explorar esta informação valiosa, fornecendo métodos quantitativos que permitem a automatização e otimização de toda a cadeia de abastecimento, incluindo o planeamento de produção e tarefas de escalonamento. No entanto, as características de planeamento que surgem em diferentes indústrias levantam requisitos especiais que estas ferramentas padrão nem sempre são capazes de responder. A complexidade dos sistemas de fabrico e o desalinhamento com as características relevantes a incluir podem, muitas vezes, conduzir a implementações infrutíferas desses sistemas. Em algumas indústrias, as abordagens em que as APS se baseiam não traduzem a realidade com precisão, criando planos inúteis ou que exijam correções manuais excessivas dos gestores. No entanto, uma das vantagens que estes sistemas têm é a sua arquitetura modular aberta para incluir novos módulos e novos algoritmos. Assim, o novo paradigma de planeamento emergente da utilização da APS fornece o quadro ideal para implementar desenvolvimentos de investigação de operações na prática.

É neste contexto que a Investigação Operacional (IO) pode ter um papel decisivo no desenvolvimento de modelos mais realistas que captem as especificidades-chave de cada indústria e na criação de algoritmos mais modulares e escaláveis, capazes de se adaptarem a mudanças do *status quo* sem perder a capacidade de gerar soluções eficientes. Para ilustrar este contributo será apresentado um projeto de colaboração com uma empresa do setor das bebidas, focado no seu desafio de planeamento de longo prazo da produção. Serão descritos o contexto, o objetivo, os resultados alcançados e as dificuldades ultrapassadas. Deste projeto resultou um módulo de planeamento que é utilizado regularmente desde 2012, o que permite uma excelente base de partida para a discussão sobre os desafios existentes.

O CONTEXTO DA INDÚSTRIA DAS BEBIDAS

Um dos principais condicionantes ao planeamento de produção na indústria de bebidas está relacionado com o perfil de vendas destes produtos. As vendas de bebidas tais como, cerveja e refrigerantes, são altamente sazonais e variáveis, devido em parte aos padrões de consumo dos clientes finais. Durante as épocas festivas da Páscoa e do Natal, regista-se um aumento no consumo destes produtos, mas é na época de verão que o pico mais elevado nas vendas é atingido. Acresce a este comportamento a variabilidade introduzida por outras fontes como a gestão das marcas, a política comercial da empresa, ou ainda o facto de alguns dos principais clientes desta indústria serem grandes retalhistas que ao longo do tempo têm tido agressivas estratégias promocionais requerendo uma resposta quase imediata dos fornecedores.

Por seu turno, a capacidade instalada mantém-se praticamente inalterada durante todo o ano, podendo ser medida pelo número de horas disponíveis para produção. Embora o recurso à utilização de horas extraordinárias para fazer face a alguns destes picos possa ser uma possibilidade, esta capacidade extra não é de todo suficiente para as alturas de maior consumo. Adicionalmente, o aumento da capacidade instalada não é muitas vezes economicamente viável uma vez que a capacidade requerida no pico de consumo originaria baixas utilizações no resto do ano.

Estas características do mercado, em simultâneo com os *lead times* do processo de fabrico e falta de capacidade no pico de vendas, condicionam fortemente a produção, e conduzem a indústria a trabalhar maioritariamente numa política de *make-to-stock*. Desta forma, a indústria garante uma resposta rápida e adequada ao mercado, mas também uma eficiente utilização dos seus recursos produtivos.

Pese embora a descrição acima se foque na indústria das bebidas, o processo produtivo subjacente partilha características comuns com outras indústrias com processo produtivo semicontínuos [3]: equipamentos produtivos multi-produto, *bill-of-material* divergente, produção em várias etapas e com um *bottleneck* conhecido, produção em *batch* nas etapas superiores e com operações contínuas nas etapas finais (processo semicontínuo), tempos e custos de *setup* dependentes da sequência. Também as dinâmicas de mercado descritas são comuns

às empresas que atuam no sector de bens de consumo, sendo por isso o processo de planeamento descrito em seguida adotado por muitas destas.

PLANEAMENTO DE LONGO PRAZO DA PRODUÇÃO

O planeamento da produção na indústria de bebidas é um processo hierárquico, em que as decisões são tomadas em diferentes níveis da empresa, consoante a natureza das variáveis em jogo. Apesar da forte interligação entre as decisões a tomar, a criação de um único modelo para a tomada de decisão é impraticável. Não só porque tal modelo seria virtualmente impossível de manter, resolver e interpretar, como também os planos de produção nos diferentes níveis visam necessidades distintas. Aos diferentes níveis de decisão correspondem diferentes objetivos e horizontes de planeamento. O sistema hierárquico de planeamento da produção nesta indústria é constituído por três níveis de decisão (ver Fig. 1): planeamento de longo prazo (com um carácter tático/estratégico), planeamento de médio prazo (tático/operacional) e planeamento de curto prazo (apenas operacional). O planeamento de longo prazo avalia a adequação da capacidade instalada face a uma previsão de vendas para um horizonte típico de 12 a 18 meses. Entre as decisões a estudar estão ajustes da capacidade (tripulações de linha e horas extraordinárias) e a constituição de stock sazonal. Com um horizonte de entre 4 a 12 semanas, os planos de cariz tático são dirigidos à criação de planos para as operações tendo por objetivo a satisfação das previsões de vendas da forma mais económica. Por fim, o nível operacional destina-se à gestão detalhada das operações nos recursos produtivos para um horizonte de um dia a uma semana. Independentemente do nível da hierarquia, as decisões funcionam num esquema de horizonte temporal rolante. Na realidade, apenas o plano de alguns períodos iniciais do horizonte temporal é aplicado na prática, uma vez que o planeamento é realizado periodicamente e tem em conta o plano gerado no nível superior.

O planeamento de longo prazo da produção (PLP) procura então a satisfação da previsão de vendas da forma economicamente mais eficiente, isto é, minimizando os custos variáveis de produção, utilização de horas extraordinárias, alocação dos produtos às linhas de enchimento, posse de inventário e a transferências entre ins-



Fig. 1 - Níveis do planeamento hierárquico da produção

talações. No entanto, o objetivo do PLP não passa por fixar o plano produtivo para as linhas de enchimento, mas antes pela estimativa dos custos a incorrer no ano seguinte e pela validação da adequação da capacidade disponível para fazer face às previsões de vendas. Na verdade, e fruto do processo hierárquico de planeamento, o *output* deste nível de planeamento será utilizado como *input* no nível de planeamento seguinte, neste caso o planeamento de médio prazo. Assim, as principais decisões que resultam deste plano serão a capacidade de cada linha de enchimento para o próximo ano e a definição do stock sazonal que passa a ser um dos objetivos a atingir pelo plano de médio prazo.

DA TEORIA (DO PRIMEIRO MODELO)

À PRÁTICA (À VERSÃO ATUAL)

O problema associado ao PLP pode ser modelado através de um modelo de programação inteira mista. Os produtos são agrupados em famílias sempre que possuam características semelhantes, nomeadamente os tipos de recipiente e de embalagem. As linhas de enchimento estão também associadas a um centro produtor, o qual é responsável por abastecer a previsão de vendas que lhe está associada. As variáveis de decisão contemplam para cada mês do horizonte de planeamento as quantidades a produzir nas diferentes linhas de enchimento por produto, o *stock* de produto final em cada centro produtor, as transferências de produto final entre cada centro produtor, os *setups* das famílias de produção em cada linha e as horas extra a utilizar em cada linha. A função objetivo minimiza a soma do custo de produção, preparação das linhas de enchimento, utilização de horas extraordinárias, posse de inventário e transferência entre centros. As restrições asseguram a satisfação da procura em cada centro produtor através de produção, stock ou transferências de ou-

tros centros, que a produção em cada mês não excede a capacidade normal disponível mais as horas extraordinárias definidas, que a produção de um produto só ocorre caso a linha de enchimento tenha sido preparada para a família à qual o produto pertence, e os limites máximos de horas extraordinárias. Na sua forma original o PLP na indústria das bebidas corresponde a uma extensão do *single stage, multi-plant, multi-item and multi-period capacitated lot sizing problem* (MPCLSP) descrito em [4].

Após a implementação do modelo acima descrito num módulo de planeamento, cedo ficou claro que o mesmo conseguia capturar fielmente as decisões a tomar no âmbito do planeamento de longo prazo da produção. No entanto, para além de constituir um *input* para o planeamento de médio prazo da produção, este plano é também utilizado na definição do plano de longo prazo da distribuição. Ao planear a distribuição para o próximo ano, conhecidas as localizações e consequentemente os custos de transporte entre os centros produtores e os centros distribuidores, bem como a procura de cada produto associada a cada centro distribuidor e sua capacidade de armazenagem, o objetivo é definir um plano de entregas dos centros produtores para os centros distribuidores, satisfazendo as procuras identificadas da forma mais eficiente (minimização dos custos de distribuição). Naturalmente, que existe uma forte dependência entre o plano de distribuição e o plano de produção, mas a razão primordial para a sua integração prendeu-se com o stock sazonal. Esta é uma das decisões mais críticas do PLP, tomada sem condicionantes da distribuição esta decisão tenderá a antecipar os produtos que libertem maior capacidade para o período de pico. Ao incorporar as condicionantes logísticas os produtos candidatos para a constituição de stock sazonal podem diferir significativamente. A capacidade de armazenagem

existente é limitada e no período de constituição de stock a empresa tem de recorrer a armazenagem externa. Assim, a integração do plano de distribuição no PLP permite uma otimização do dimensionamento da capacidade de armazenagem externa, passando esta a ser uma das decisões primordiais deste nível de planeamento. Do ponto de vista de modelação, as alterações despoletaram um conjunto significativo de novas variáveis e restrições, do ponto de vista dos planos gerados a integração das decisões permitiu robustecer os planos gerados.

A utilização do módulo de planeamento potenciou a criação de múltiplas análises de cenários entre as quais a abertura e/ou fecho de novas unidades de produção, ou linhas de enchimento ou centros de distribuição. A modelação inicial considerava a configuração dos ativos estática ao longo do tempo, o que não permitia abertura/fecho/remodações ao longo do horizonte de planeamento. Os parâmetros no modelo foram revistos para poderem ser variáveis por período, uma alteração simples do ponto de vista de modelação que capacitou o módulo de planeamento com inúmeras novas funcionalidades. Não só a questão da configuração dos ativos, como evoluções tecnológicas das linhas para a produção de novos formatos, introdução de períodos de revisão/manutenção, incremento/decremento da performance da linha ao longo do tempo, entre outras.

Uma das extensões do modelo original mais desafiante diz respeito à consideração de tripulações de linha partilhadas. Neste contexto, a mesma tripulação pode operar mais do que uma linha de enchimento em cada mês, mas apenas uma em cada turno. É então necessário definir qual o regime de operação da tripulação em cada dia (número de turnos de funcionamento de cada linha), garantir que as tripulações não se sobrepõem na mesma linha, que as linhas apenas produzem caso exista uma tripulação atribuída e que as horas de trabalho da tripulação não são excedidas. Esta extensão originou um conjunto considerável de novas variáveis de

decisão (muitas das quais inteiras), restrições adicionais e revisão de restrições anteriores. No entanto, salienta-se que o método de solução existente desde o modelo original permaneceu inalterado. O método baseia-se nos princípios do *Variable Neighborhood Search* (VNS) combinados com a formulação matemática desenvolvida, como forma de gerar rapidamente soluções de alta qualidade para o problema [2]. Esta combinação entre modelos matemáticos e metaheurísticas dá origem a métodos de solução muito escaláveis e flexíveis como comprova esta extensão.

DESAFIOS FUTUROS

Os modelos matemáticos de planeamento tático/estratégicos apresentam um desafio constante entre o nível de detalhe e/ou granularidade introduzido, o que leva a uma maior ou menor complexidade, e a capacidade de descrever corretamente os fenómenos que se pretendem estudar. Um exemplo em particular deste *trade-off* prende-se com o impacto na eficiência¹ das linhas de produção do tipo e tamanho de lote. Muitos dos modelos de planeamento de longo prazo têm por base uma discretização temporal em meses. A este nível de granularidade é difícil antecipar o efeito das reduções/aumentos dos tamanhos médios de lote de produção que resultam de extensões ou reduções de gama, necessidade de alterações de frequência de produção, entre outros motivos. Assim, é necessário desenvolver novos modelos que consigam capturar este importante efeito, sem recorrer a um aumento da granularidade temporal.

Muitos desafios no campo do planeamento de longo prazo da produção estão relacionados com a capacidade de criar modelos mais holísticos que integrem diferentes áreas da empresa. Para além das extensões imediatas decorrentes da interação de outras vertentes da operação, como o caso da distribuição visto anteriormen-

te, a integração com decisões das áreas de marketing e vendas constituem desafios com um potencial muito interessante e ainda pouco explorado. Por exemplo, a integração da decisão da gama de produtos a oferecer considerando o seu impacto operacional [1]. Estes novos modelos podem permitir uma racionalização mais inteligente dos portfólios que têm vindo a ser consecutivamente alargados no sector de bens de consumo, bem como a identificação de folgas na capacidade que podem ser exploradas. Outra área cuja integração com o planeamento de longo prazo da produção pode trazer importantes ganhos operacionais é a gestão de ativos. Em indústrias de capital intensivo uma gestão eficiente dos ativos é fundamental para a competitividade das empresas. A performance dos ativos e a consequente eficiência dos mesmos está intrinsecamente ligada à forma como estes são explorados. Assim, a criação de modelos integrados de produção com gestão de ativos pode encontrar pontos de maior eficiência na *trade-off* entre estas duas dimensões.

Por último, um tema cada vez mais recorrente na área da inteligência artificial respeita a explicabilidade dos modelos criados. Este desafio é normalmente associado aos modelos de *machine learning* que muitas das vezes são *black boxes* cujos resultados são difíceis de compreender ou pouco transparentes. Todavia, este desafio não é exclusivo desse tipo de modelos e também os modelos de otimização carecem por vezes de uma maior explicabilidade para os agentes finais de decisão que não dominam o conhecimento técnico por detrás de um modelo matemático e do seu método de resolução. Explicar a um agente de decisão uma determinada escolha de um modelo de otimização não é uma tarefa trivial. Muitas das vezes os agentes de decisão esperam explicações locais, quando na verdade a complexidade dos modelos matemáticos obriga a que estas sejam dadas de forma global. Este é um desafio comum na implementação deste tipo de técnica na prática e também acompanhou o projeto apresentado.

1- OEE – Overall Equipment Effectiveness

REFERÊNCIAS

- [1] Andrade, X., Guimarães, L., & Figueira, G. (2021). *Product line selection of fast-moving consumer goods*. *Omega*, 102.
- [2] Guimarães, L., Klabjan, D., & Almada-Lobo, B. (2012). *Annual production budget in the beverage industry*. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 25(2):229–241.
- [3] Kallrath, J. (2002). *Planning and scheduling in the process industry*. *OR Spectrum*, 24(3):219–250.
- [4] Nascimento, M.C.V. & Resende, M.G.C., & Toledo, F.M.B. (2010). *Grasp heuristic with path-relinking for the multi-plant capacitated lot sizing problem*. *European Journal of Operational Research*, 200(3):747–754.

DESENVOLVIMENTO E PRODUÇÃO DE NOVOS MEDICAMENTOS

A indústria farmacêutica tem enfrentado vários desafios causados pelos avanços científicos e tecnológicos e rápidas mudanças de mercado, bem como pelo excesso de regulamentação [1]. Estudos recentes revelam que esta indústria está com dificuldades em manter os níveis necessários de inovação e produtividade que garantam a sua sustentabilidade. Por outro lado, as métricas de desempenho operacional do passado já não são apropriadas, impulsionando o sector a procurar estratégias para produzir medicamentos de forma mais competitiva.

A diminuição do tempo de vida efetivo das patentes e o subsequente aumento da concorrência por parte dos medicamentos genéricos levaram, tanto a indústria como a academia, a investigar novos processos de desenvolvimento e produção. Não só a redução do tempo necessário para a colocação de novos medicamentos no mercado se tornou uma questão central, bem como a garantia de critérios de sustentabilidade – utilização eficiente dos recursos e a gestão de resíduos, têm vindo potenciar o desenvolvimento de abordagens inovadoras com vista à otimização da operação desta indústria.

Contudo, os progressos no desenvolvimento de modelos de suporte à tomada de decisão apresentam ainda resultados relativamente limitados [3]. Verifica-se um claro défice de investigação que aborde as tendências mais proeminentes, como a centralidade no paciente, novos desenvolvimentos tecnológicos ou a adoção efetiva de ferramentas de apoio à decisão, destacando-se assim a natureza disruptiva das mudanças que irão impulsionar uma indústria tradicionalmente conservadora.

Os obstáculos mais relevantes e tecnicamente desafiadores ao uso generalizado de modelos de suporte à tomada de decisão estão relacionados, por um lado, com o desenvolvimento de modelos eficientes e capazes de integrarem as várias funções da cadeia de abastecimento e, por outro, lidarem com a natureza altamente estocástica do sector. Além disso, requisitos específicos, como a necessidade de operações rigorosas e dispendiosas de limpeza e esterilização, resultam em longos tempos de ciclo que acrescentam maior complexidade ao desenvolvimento de novas estratégias de produção [6]. Para ultrapassar estes desafios, investigadores e a indústria farmacêutica há muito que identificaram a necessidade de explorar de forma

adequada os dados nos processos de tomada de decisão. Este é o ponto de partida que lança a investigação focada no desenvolvimento de modelos e metodologias para a otimização integrada dos processos de desenvolvimento e produção de novos medicamentos.

DESAFIOS DA INDÚSTRIA FARMACÊUTICA

Numa perspetiva conceptual mais ampla, a produção tem como o objetivo entregar as quantidades certas de produto no momento certo, a custos competitivos e com elevada qualidade. A importância relativa dos custos e da incerteza sobre as atividades de produção que suportam o portefólio de desenvolvimento e comercialização de novos medicamentos pode ser representada de forma matricial [3], conforme indica a Fig. 1.

A matriz procura mostrar os compromissos da indústria farmacêutica face a um cenário futuro, como uma possível resposta aos desafios que este sector enfrenta e precisa de superar. A fig. 1 ilustra as três grandes fases do ciclo de desenvolvimento de novos medicamentos (I&D, ensaios clínicos I-III e comercialização). A fase de I&D é responsável pelas atividades de investigação, segurança e toxicologia do princípio ativo do medicamento. Os ensaios I-III estão relacionados com os estudos clínicos realizados em humanos. A fase de comercialização inclui as atividades de fabrico necessárias para entregar ao mercado as quantidades de medicamento necessárias, após aprovação pelas agências reguladoras. A incerteza e os custos são representados numa escala de alto-baixo e a proporção do lote de produção em cada fase é indicada pelo tamanho da bolha associada. De forma sucinta, é necessário encontrar formas de lidar com a incerteza e reduzir custos. Por um lado, a incerteza e os custos, podem ser reduzidos através da adoção de novos processos e tecnologias. Por outro lado, a adoção de ferramentas de otimização será chave para compreender melhor e otimizar o seu funcionamento.

PROBLEMA

Na indústria farmacêutica, as instalações de produção são tipicamente multitarefa e operam normalmente em produção por lotes, fabricando simultaneamente, na mesma instalação, produtos em comercialização e em desenvolvimento. Neste modo de produção, os produtos partilham os recursos disponíveis, tais como unidades de



CATARINA MARQUES

INESC TEC

catarina.m.marques@inesctec.pt



MIGUEL VIEIRA

Universidade de Coimbra
miguel.vieira@uc.pt



SAMUEL MONIZ

Universidade de Coimbra
samuel.moniz@dem.uc.pt

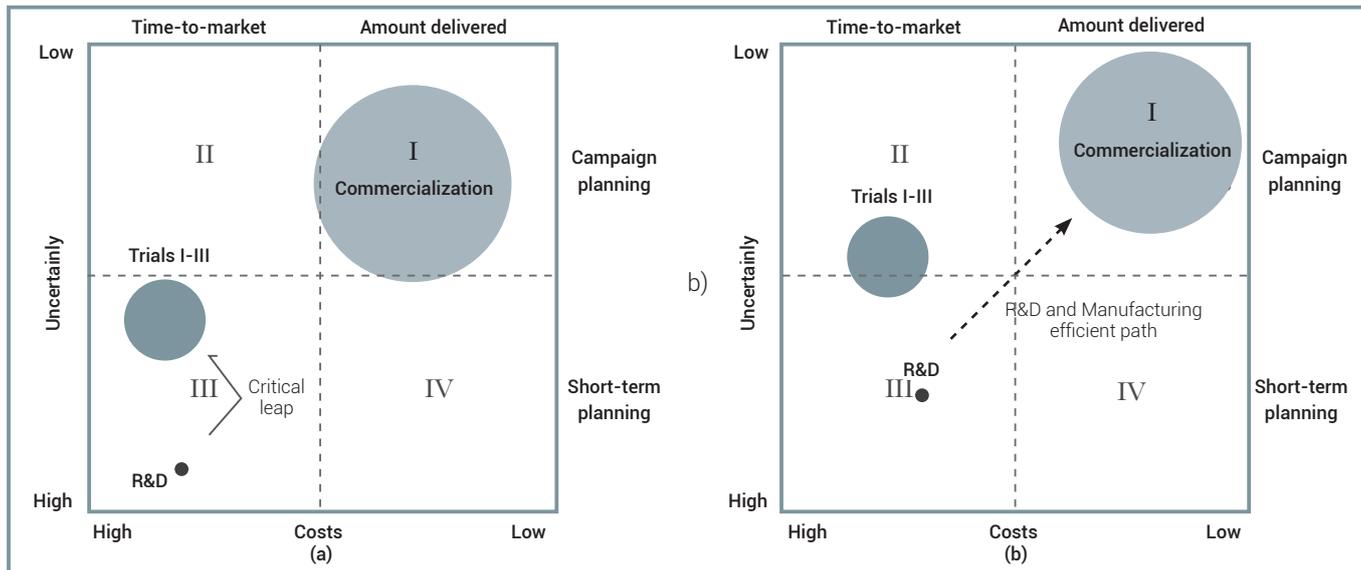


Fig. 1 - Matriz Incerteza-Custo da Indústria Farmacêutica: (a) situação atual (b) situação futura [5].

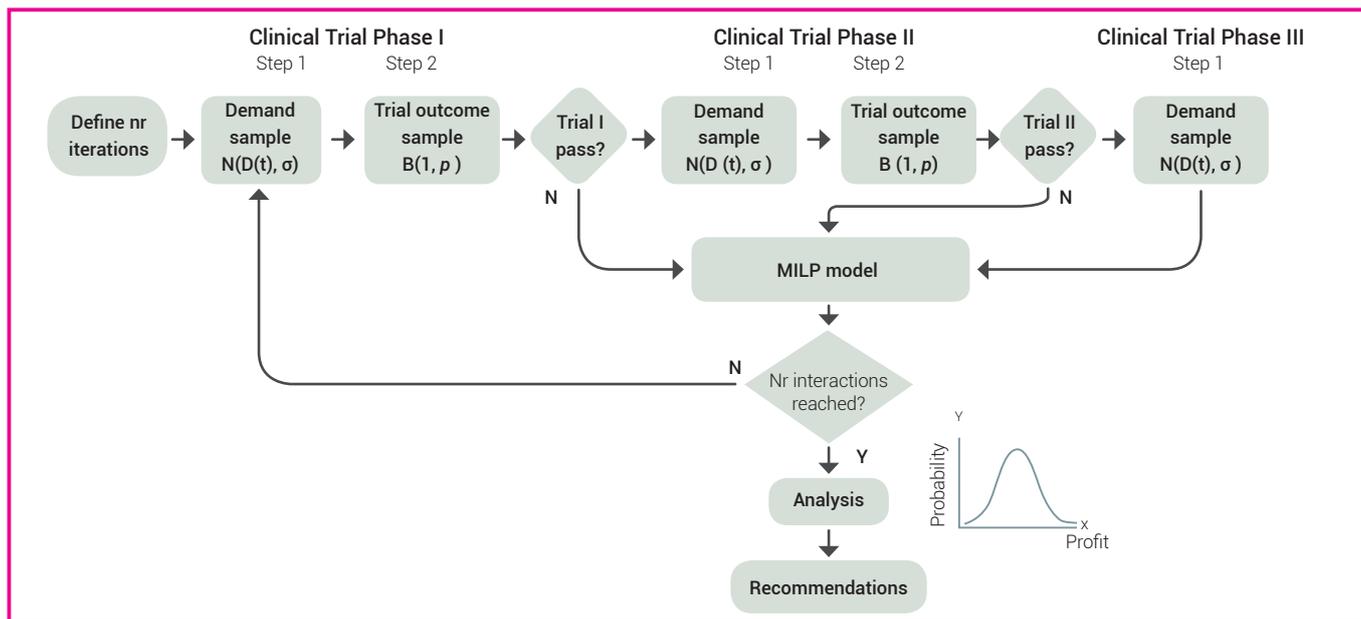


Fig. 2 - Representação esquemática da metodologia desenvolvida [4].

processamento, matérias-primas e intermediários [4]. A alternativa à produção por lotes é a produção em processo contínuo, uma área promissora na indústria farmacêutica. Porém, o modo de produção por lotes ainda prevalece [5]. Para satisfazer adequadamente os requisitos da procura, os recursos são partilhados entre

os dois tipos de produtos, sendo possível existir expansões de capacidade para acomodar o aumento da procura. Contudo, as expansões de capacidade para os produtos em comercialização são, em geral, altamente indesejáveis. Isto acontece não só devido aos custos envolvidos na mudança de um processo de produção que

já se encontra aprovado pelas agências do medicamento, mas também pelo tempo necessário à revalidação do processo. Por esta razão, o problema a resolver deve considerar aumentos de capacidade associados apenas aos produtos em desenvolvimento.

O processo de desenvolvimento do produto aqui

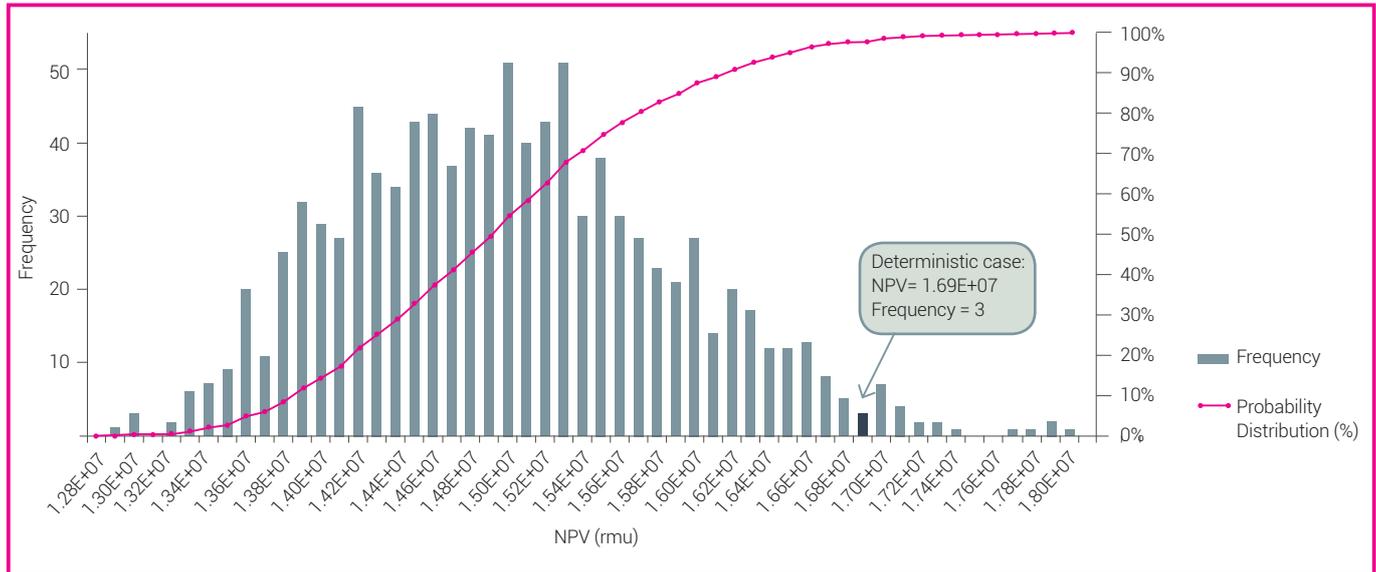


Fig. 3 –Histograma do valor anual líquido (NPV) e distribuição de probabilidade associada [4].

considerado engloba as três fases de ensaios clínicos, terminando com a aprovação regulamentar (tanto do produto como do processo de produção) e lançamento do produto no mercado [4]. Numa empresa farmacêutica típica, a fase de desenvolvimento compreende um portfólio de produtos que se encontram simultaneamente em diferentes fases de desenvolvimento (ou diferentes fases de ensaios clínicos). Por uma questão de simplicidade é assumido que um conjunto conhecido de produtos atinge a fase I dos ensaios clínicos ao mesmo tempo, e que o plano de produção ideal é determinado considerando as probabilidades de sucesso de cada produto, em cada fase dos ensaios clínicos.

Com vista a acomodar todas as fases dos ensaios clínicos, foi desenvolvida uma metodologia baseada num modelo de otimização que assume um horizonte de planeamento de 5 anos, dividido em intervalos de tempo iguais. Devido ao longo horizonte temporal imposto pelos ensaios clínicos, a incerteza na procura é considerada para ambos os tipos de produtos. Para os produtos em desenvolvimento, a incerteza decorre de duas fontes principais: i) resultados dos ensaios clínicos (i.e., passa/não-passa à fase seguinte); e ii) a incerteza na procura devido ao abandono de pacientes durante a realização dos ensaios clínicos. O principal objetivo é determinar o plano de produção “ideal”, o *design* do processo e os

aumentos de capacidade de produção para o portfólio de produtos, garantindo que todos os requisitos de procura são cumpridos.

METODOLOGIA

Tendo em conta o problema definido, este trabalho de investigação pretende avaliar o impacto da tomada de decisão integrada, incluindo aspetos como a incerteza na procura, diversidade de produtos e a incerteza associada a cada nível de decisão. O principal objetivo é desenvolver abordagens baseadas em otimização, focadas nas decisões de planeamento estratégico e tático sob incerteza, mas considerando as interações com decisões operacionais. Espera-se assim que estas abordagens contribuam para um processo de tomada de decisão mais informado, com o objetivo de: i) maximizar o lucro da empresa; ii) minimizar futuras mudanças no processo de produção; e iii) melhorar a eficiência dos processos, particularmente em relação à utilização de recursos e gestão de resíduos.

A metodologia desenvolvida integra um modelo de programação matemática e a simulação de Monte Carlo [6]. A simulação de Monte Carlo gera aleatoriamente um grande número de casos de procura dos medicamentos e de resultados dos ensaios clínicos. Para cada um destes casos, o modelo MILP é resolvido e obtém-se uma solução ótima. Nos produtos já em comercialização

assume-se a procura como parâmetro aleatório, enquanto que para produtos em desenvolvimento é considerada incerteza na procura e nos ensaios clínicos, usando um procedimento em duas etapas, realizado para cada fase de ensaio clínico (ver Fig. 2).

RESULTADOS

Os resultados mostram claramente a influência dos parâmetros aleatórios no *design* dos processos e incrementos de capacidade, reforçando assim a ideia de que modelos determinísticos tendem a propor soluções de qualidade inferior neste tipo de problemas.

De acordo com a Fig. 3, o valor máximo do valor anual líquido (NPV) obtido foi de $1,79 \times 10^7$ unidades monetárias relativas (rmu); o valor mínimo foi de $1,28 \times 10^7$ rmu e o NPV médio foi de $1,50 \times 10^7$ rmu. A amplitude entre os valores médios e mínimos é de cerca de 14%, o que pode ser penalizador para a empresa, em função do contexto específico e da aversão ao risco dos decisores. Por outro lado, o lucro ideal para o caso determinístico, que se baseia em valores médios estimados foi de $1,69 \times 10^7$ rmu. A frequência de ocorrência deste valor é de apenas 3 em 1000 e a probabilidade do lucro ser inferior a este valor é de cerca de 98%. Isto significa que o caso determinístico é muito improvável de ocorrer, demonstrando que o processo de tomada de de-

O SÓCIO N.º ... 1125

O meu primeiro contacto com a Investigação Operacional (IO) não foi direto, mas diria que o gosto pela matemática e a sua aplicação, como ferramenta para resolução de problemas reais, tornaria o nosso confronto inevitável. No secundário, segui, sem qualquer hesitação, a área das Ciências e subárea da Química, na altura disponível no Liceu Alexandre Herculano, Porto. No ano 1990, tive que escolher o curso para ingressar no ensino superior... Não seria fácil,... por um lado, o facto de gostar da matemática aplicada e, por outro, a crescente aproximação pela área da gestão dificultava a decisão... Interessa lembrar que, na altura, a informação ainda não estava à distância de um clique... Foi então que eu e um grupo de colegas, hoje engenheiros e químicos, decidimos ir à Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP), na altura ainda localizada na Rua dos Bragas, com o propósito de recolher informação para esclarecer as nossas mentes. No meu caso, buscava algo que se aproximasse à "Gestão"... E foi assim que soube que a FEUP tinha também, pela primeira vez, a oferta do curso "Gestão e Engenharia Industrial (GEI)", que incluía os tais ingredientes que me convenceram a ingressar... Lá fora, a Engenharia Industrial já tinha ganho o merecido relevo, sendo reconhecida tal como as restantes engenharias clássicas, mas em Portugal ainda teria muito que palmitilhar e dar provas do que valiam os seus graduados, para que o seu valor fosse reconhecido e emergisse ao lado das restantes engenharias...

O GEI foi a minha escolha, que constituiu a primeira etapa do meu percurso académico. Nesta formação, ficou evidente que a matemática aplicada à IO e estatística constituíam os pilares base de qualquer sistema de apoio à decisão. No âmbito do estágio curricular, numa empresa industrial, desenvolvi um projeto para implementação de um sistema de planeamento e controle de produção. No final do curso, as minhas origens levaram-me a apresentar a candidatura ao lugar de Assistente na recente Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Bragança (IPB), onde me mantenho em funções ainda hoje. Posteriormente, ingressei no Mestrado de Produção Integrada por Computador, lecionado na Universidade do Minho. No âmbito da dissertação, desenvolvi modelos analíticos e de simu-

lação para avaliar o desempenho de cadeias de empresas em fornecimento Just-in-time, sob orientação do Professor Doutor Sílvio do Carmo Silva. Acabaria por regressar mais tarde à FEUP, já nas novas instalações, ao aceitar o desafio da minha colega de curso, Professora Doutora Ana Camanho para fazer o Doutoramento na área de avaliação de eficiência e produtividade, utilizando a metodologia de Data Envelopment Analysis (DEA), sob a sua orientação e do Professor Doutor Rui Guimarães. Este projeto permitiu o desenvolvimento de modelos de DEA adaptados à realidade observada numa cadeia de lojas de grande retalho, utilizada como caso de estudo. Posteriormente, tenho estado envolvida em vários projetos de investigação na área da avaliação de desempenho, utilizando a metodologia de DEA, em setores diversos, tais como, energias renováveis, sustentabilidade ambiental e terceiro setor.

Desde o início da minha atividade docente, que tenho lecionado unidades curriculares na área da gestão das operações e métodos quantitativos. A missão do IPB, também assente na inovação, produção e transferência de conhecimento técnico-científico, tem impulsionado a cooperação com organizações públicas e privadas no sentido de responder aos atuais desafios, com repercussões no ensino e investigação, que se tem materializado em vários projetos. Na área da produção, tenho estado envolvida na orientação de estágios e dissertações de mestrado, em empresas industriais, nomeadamente na Faurecia, empresa multinacional, a de maior dimensão localizada na região. No apoio à reestruturação desta empresa em 2015, supervisionei vários projetos realizados pelos alunos em ambiente industrial, no âmbito de várias unidades curriculares, ao abrigo do protocolo de cooperação. A reconfiguração de layouts das linhas de produção e do sistema de armazenamento, e a melhoria da eficiência das linhas de produção e dos fluxos logísticos têm constituído as principais áreas dos projetos em que tenho estado envolvida, na área da produção. Recentemente, o desenvolvimento de sistemas de apoio à decisão, para reconfiguração dos sistemas de produção, tem vindo a revelar-se crucial para responder aos desafios que a atual pandemia colocou às empresas industriais. No apoio à



CLARA BENTO VAZ

Instituto Politécnico de Bragança
Centro de Investigação em Digitalização e
Robótica Inteligente (CeDRI)
Centro de Engenharia e Gestão Industrial
(CEGI) do INESC TEC
clvaz@ipb.pt

leção da matemática e IO, temos em curso o projeto MathE, que conduziu ao desenvolvimento de uma Biblioteca da Matemática online, com múltiplos recursos, de acesso livre, em que tenho estado envolvida no tópico da otimização. Esta plataforma tem-se revelado um eficaz instrumento no suporte ao ensino à distância, neste ambiente pandémico em que vivemos.

Apesar de atualmente já começarmos a ver a luz ao fundo do túnel, continua a sentir-se o impacto negativo que atual pandemia tem provocado nas instituições de ensino superior, há mais de 1 ano... No entanto, novos e diversos problemas complexos têm surgido aos mais variados níveis, constituindo novos desafios que, seguramente, podem ser resolvidos através da IO de forma eficaz e eficiente.

EVENTOS REALIZADOS

EURO Award for the Best EJOR Paper 2020

O artigo "Opportunities and challenges in sustainable supply chain: An operations research perspective" de Ana Barbosa-Póvoa, Cátia da Silva e Ana Carvalho foi distinguido com o EURO Award for the Best EJOR Paper (EABEP) de 2020, na categoria "Review".

Prémio APDIO - FCT NOVA

Pelo 11.º ano consecutivo, foi atribuído o Prémio APDIO - FCT NOVA ao melhor aluno de Investigação Operacional da Faculdade de Ciências e Tecnologia da UNL. Este Prémio foi constituído com parte dos lucros do IO2009 - 14.º congresso nacional da APDIO, que decorreu na FCT NOVA.

O Prémio relativo ao ano letivo de 2019/20 foi atribuído a Francisco Barroso de Sousa Albardeiro da Licenciatura em Matemática.

O Diploma e cheque correspondentes ao Prémio foram entregues por ocasião do 43.º Aniversário da FCT NOVA.

WISDOM fórum de EURO

WISDOM

WOMEN IN SOCIETY:
DOING OPERATIONAL RESEARCH
AND MANAGEMENT SCIENCE

Em janeiro de 2020, a EURO (The Association of European Operational Research Societies) criou o Fórum WISDOM (Women In Society: Doing Operational Research and Management Science).

Essa iniciativa reafirma a necessidade de investigar as tendências e obstáculos principais ligados com assuntos de género na Investigação Operacional (IO) e afirma que a Ciência e a Tecnologia podem trazer novas oportunidades para todas as mulheres em todas as áreas, se houver acesso igualitário aos recursos e formação adequada. O WISDOM é projetado como um fórum para apoiar, capacitar e incentivar a participação de todos os géneros dentro da EURO.

Projetos Financiados

Título: "FUTUREPHARMA - Pharmaceutical supply chain of the future"
Entidade financiadora: Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT)
Investigador principal: Samuel Moniz (UC)

Título: "Controlo Ótimo e Modelação Matemática da Pandemia Covid-19: contributos para uma estratégia sistémica de intervenção em saúde na comunidade"

Entidade financiadora: FCT

Investigadora principal: Cristiana J. Silva, CIDMA

Título: "Automatic Treatment Planning for Proton Therapy: Investigations of Robustly Optimized Intensity Modulated Proton Therapy Incorporating LET/RBE Criteria and Physical and Biological Uncertainties"

Entidade financiadora: Programa UTAustin Portugal, FCT

Investigador principal: Joana Dias (PT), Radhe Mohan (AT)

Teses de Doutoramento

Autor: Ana Sara Silva Rodrigues da Costa

Título: "A multiple criteria integrated approach for nominal classification problems: Methods and applications"

Instituição: Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa

Programa Doutoral em Engenharia e Gestão

Orientadores: José Rui Figueira e José Borbinha

Data da conclusão: junho de 2020

Autor: Olena Kostylenko

Título: "Análise Dinâmica e Controlo Ótimo com Aplicações à Economia"

Instituição: Universidade de Aveiro

Programa Doutoral em Matemática Aplicada

Orientadores: Delfim Torres e Helena Rodrigues

Data da conclusão: julho de 2020

EVENTOS A REALIZAR

Euro PhD Summer School em Cadeias de Abastecimento Sustentáveis - 2021

19 a 21 de julho de 2021

Instituto Superior Técnico, Lisboa, Portugal

Mais informações em <http://epsinssc.tecnico.ulisboa.pt/>

SustSC 2021

22 e 23 de julho de 2021

Instituto Superior Técnico, Lisboa, Portugal

Mais informações em <http://sustsc2021.tecnico.ulisboa.pt/>



Associação Portuguesa de Investigação Operacional
Departamento de Engenharia e Gestão
Instituto Superior Técnico
Av. Rovisco Pais, 1
1049-001 Lisboa, Portugal
apdio@euro-online.org



<http://apdio.pt/home>
<https://www.facebook.com/APDIO.PT/>
<https://www.linkedin.com/in/apdio-pt-545718177/>

BOLETIM
APDIO

Equipa Editorial
Eliana Costa e Silva
eos@estg.ipp.pt
Rui Borges Lopes
rui.borges@ua.pt

Design
Inês Assis
inesassis.design@gmail.com
Impressão
Gráfica Pacense, Lda.
Tiragem 325 exemplares