

BOLETIM APDIO

PUBLICAÇÃO SEMESTRAL | 73 | DEZEMBRO '25

TÉCNICAS DE IO

MODELOS DE ESCOLHA DISCRETA E OTIMIZAÇÃO: UMA ABORDAGEM COMPORTAMENTAL PARA PROBLEMAS DE DECISÃO

ENTREVISTA

JOSÉ VALÉRIO DE CARVALHO

“A APDIO TEM DESENVOLVIDO UMA AÇÃO EXTRAORDINÁRIA DE DISSEMINAÇÃO DA IO, E TEM UM NÚMERO DE ASSOCIADOS POR MILHÃO DE HABITANTES QUE É ÍMPAR A NÍVEL INTERNACIONAL”

OPINIÃO

COMO PODEM AS FERRAMENTAS ANALÍTICAS E O LEAN APOIAR A TOMADA DE DECISÃO EM CONTEXTO DE LEARNING FACTORY?

IO EM AÇÃO

DA ABSTRAÇÃO À AÇÃO: A INVESTIGAÇÃO OPERACIONAL COMO MOTOR DE DECISÃO



ÍNDICE

03 ENTREVISTA

“A APDIO TEM DESENVOLVIDO UMA AÇÃO EXTRAORDINÁRIA DE DISSEMINAÇÃO DA IO, E TEM UM NÚMERO DE ASSOCIADOS POR MILHÃO DE HABITANTES QUE É ÍMPAR A NÍVEL INTERNACIONAL”

José Valério de Carvalho

05 OPINIÃO

COMO PODEM AS FERRAMENTAS ANALÍTICAS E O LEAN APOIAR A TOMADA DE DECISÃO EM CONTEXTO DE LEARNING FACTORY?

Ana Margarida Simões
Catarina Fonseca
Paulo Nascimento
Cristóvão Silva
Samuel Moniz

08 TÉCNICAS DE IO

MODELOS DE ESCOLHA DISCRETA E OTIMIZAÇÃO: UMA ABORDAGEM COMPORTAMENTAL PARA PROBLEMAS DE DECISÃO

Beatriz Brito Oliveira

13 IO EM AÇÃO

DA ABSTRAÇÃO À AÇÃO: A INVESTIGAÇÃO OPERACIONAL COMO MOTOR DE DECISÃO

João Pires Ribeiro

15 LUGAR AOS NOVOS

APOIAR DECISÕES COM ATORES-CHAVE EM SAÚDE: AVALIAÇÃO MULTICRITÉRIO DE DISPOSITIVOS MÉDICOS

Liliana Freitas

18 ESTUDIO

NEW INTEGER PROGRAMMING MODELS FOR THE MULTI-DEPOT VEHICLE ROUTING PROBLEM WITH INTER-DEPOT ROUTES

Ana Hansems

20 NOTICIÁRIO



MIGUEL VIEIRA

// Professor Auxiliar da Faculdade de Engenharia da Universidade Lusófona

// Investigador Integrado do RCM2+ Centro de Investigação em Gestão de Ativos e Engenharia de Sistemas
miguel.vieira@ulusofona.pt



TELMO PINTO

// Professor Auxiliar do Departamento de Produção e Sistemas da Universidade do Minho

// Investigador Integrado do Centro ALGORITMI da Escola de Engenharia da Universidade do Minho
telmo@dps.uminho.pt

EDITORIAL

Num momento em que os desafios à tomada de decisão se tornam cada vez mais complexos, esta 73ª edição do Boletim da APDIO reúne um conjunto de contributos que evidenciam a relevância crescente da Investigação Operacional, tanto na vertente metodológica como na sua aplicação prática em diferentes setores.

Na **Entrevista**, José Valério de Carvalho partilha o seu percurso académico e profissional, destacando o papel determinante que a APDIO tem desempenhado na disseminação da Investigação Operacional (IO), bem como dos desafios na investigação e no ensino desta área ao longo dos anos para a qual tanto contribuiu.

No artigo de **Opinião**, Ana Margarida Simões, Catarina Fonseca, Paulo Nascimento, Cristóvão Silva e Samuel Moniz exploram o potencial das ferramentas analíticas e dos princípios Lean em ambientes de Learning Factory, do qual é exemplo o Factory Lab na Universidade de Coimbra. Este contributo discute como a conjugação destas abordagens pode reforçar a eficácia dos processos de aprendizagem e apoio à decisão em contextos industriais e formativos.

Em **Técnicas de IO**, Beatriz Brito Oliveira apresenta uma abordagem que integra modelos de escolha discreta em problemas de otimização, explorando, de forma agregada, os componentes individuais da procura, como a heterogeneidade e os padrões de substituição. A abordagem é aplicada em sistemas de mobilidade partilhada, demonstrando contextos de incerteza em que as decisões dependem do comportamento dos indivíduos.

Na secção **IO em Ação**, João Pires Ribeiro convida-nos a refletir sobre a transição da

abstração à prática, evidenciando o papel da IO como motor da decisão no chão de fábrica. O artigo destaca a relevância da colaboração empresarial com as instituições de Ensino Superior, por forma a promover impacto real em ambientes de elevada complexidade logística e produtiva, como o caso da Visteon Portugal.

No **Lugar aos Novos**, Liliana Freitas aborda o apoio à decisão através de abordagens multicritério e participativas na avaliação de dispositivos médicos, de forma mais transparente e próxima da realidade. Num contexto de crescente evolução tecnológica e pressão sobre os sistemas de saúde, esta abordagem mostra uma área primordial para a colaboração dos decisores com academia, indústria e instituições de saúde.

Na secção **Estudio**, Ana Hansems apresenta o seu trabalho de mestrado, vencedor do prémio atribuído no IO2025, sobre novos modelos para o problema de planeamento de rotas com múltiplos depósitos, incluindo rotas inter-depósitos, com elevado potencial de aplicação em redes logísticas de elevada complexidade.

Para terminar, o boletim apresenta o **Noticiário**, com destaque para o IO2025 e a antevisão dos eventos EURO do segundo semestre de 2026.

Uma vez mais, o nosso agradecimento a todos os que contribuíram para esta edição, dignos representantes do espírito desta comunidade para formar, aplicar e inovar.

Boas leituras e até breve!

“A APDIO TEM DESENVOLVIDO UMA AÇÃO EXTRAORDINÁRIA DE DISSEMINAÇÃO DA IO, E TEM UM NÚMERO DE ASSOCIADOS POR MILHÃO DE HABITANTES QUE É ÍMPAR A NÍVEL INTERNACIONAL”

Quando olha para o seu percurso académico, que tipos de problemas ou temáticas foram decisivos para consolidar a forma como passou a pensar a Investigação Operacional?

A minha primeira área foi a Simulação. Depois, fiz a minha dissertação de mestrado em Processos Estocásticos, mas, sem dúvida, aquilo que acabou por me conduzir à minha área principal de atuação foi um projeto para a indústria em que se desenvolveu um sistema de apoio à decisão para efetuar o planeamento de corte de rolos da indústria de laminagem, implementado num computador pessoal, nos primórdios dos computadores pessoais. Esse sistema fazia o trabalho de uma equipa de cerca de uma dúzia de pessoas, com muita experiência, e fornecia soluções ainda com menor desperdício do que as que a empresa tinha anteriormente.

Ao trabalhar em problemas aplicados, que aprendizagens mais influenciaram a sua forma de modelar e resolver? E que abordagens mais inesperadas, ou menos óbvias à partida, acabaram por ter impacto real na prática?

Nesse projeto aplicado, usámos um modelo cujas variáveis estão associadas a padrões de corte, geração de colunas, e heurísticas de arredondamento para obter uma solução heurística inteira. Havia métodos exatos, mas só conseguiam resolver instâncias muito pequenas.

Na altura, era um grande desafio obter soluções ótimas inteiras para o corte a uma dimensão. Tive a ideia de usar um modelo de fluxos em arcos, que era uma extensão de um modelo do problema de saco de mochila, em que o número de variáveis e restrições não é polinomial, mas pseudo-polinomial. Tem uma maior dimensão, mas eu sabia que a sua relaxação linear descrevia de uma forma mais precisa a região que contém as soluções inteiras admissíveis. Isso tipicamente ajuda a encontrar a melhor solução de uma forma mais rápida. A

escolha da palavra “precisa” não é indiferente. Etimologicamente significa pré-cortada, para melhor se adaptar às necessidades. E é isso que se faz quando se procuram modelos mais precisos, ou mais fortes, como se diz habitualmente em programação inteira.

Eu tive o privilégio de, no curso de mestrado, ser aluno de Hanif Sherali, hoje membro da U.S. National Academy of Engineering. Foram as bases sólidas das suas unidades curriculares de programação linear e de fluxos em rede, e depois o livro de Nemhauser e Wolsey, que alertava para a importância dos modelos fortes, que me levaram a testar esse modelo. Havia incerteza, por o modelo ser maior, mas, com ele, consegui encontrar as soluções ótimas inteiras de todas as instâncias de *benchmark*, muitas ainda em aberto. Não sem ter de ultrapassar dificuldades. Foi preciso desenvolver um método de geração de colunas, e também geração de restrições, porque os computadores da altura tinham capacidades muito limitadas.

Esse trabalho foi feito há 30 anos, e teve um impacto significativo, porque mostrou que era possível abordar problemas complexos com modelos de fluxos em arcos, e obter soluções ótimas em tempos razoáveis. Recentemente publicámos um artigo de revisão que cita mais de uma centena de artigos relacionados com modelos deste tipo.

Com o desenvolvimento dos solvers e a evolução do hardware e das próprias técnicas de IO, o que é que mudou na forma de fazer otimização? E que limitações continuam a surgir?

Há um artigo recente do François Clautiaux e da Ivana Ljubić que cita trabalhos de Robert Bixby que reportam acelerações dos tempos de resolução de problemas da ordem de vários milhões num período de cerca de trinta anos. E isso é um facto notável. Mas mais notável ainda é que o que mais contribuiu para isso foram



JOSÉ VALÉRIO DE CARVALHO

// Professor Catedrático da Universidade do Minho e Senior Researcher no Centro ALGORITMI da Universidade do Minho (Systems Engineering and Operational Research Group)

// PhD em Engenharia de Produção, especialidade de Investigação Operacional, pela Universidade do Minho, tendo desenvolvido a sua investigação na área da programação inteira em grande escala e na aplicação a problemas de corte e empacotamento, desenho de sistemas de rede e planeamento de operações
vc@dps.uminho.pt

“ESSE SISTEMA [DE APOIO À DECISÃO] FAZIA O TRABALHO DE UMA EQUIPA DE CERCA DE UMA DÚZIA DE PESSOAS, COM MUITA EXPERIÊNCIA, E FORNECIA SOLUÇÕES AINDA COM MENOR DESPÉRDIO DO QUE AS QUE A EMPRESA TINHA ANTERIORMENTE”

as melhorias dos *solvers* de programação linear inteira mista, que passaram a incorporar novas ideias teóricas, heurísticas e toda a espécie de truques práticos. Para a aceleração global que resulta da combinação dos dois fatores, esse contributo é muito mais forte do que o das melhorias do hardware dos computadores.

Isso permitiu uma mudança de paradigma de abordagem de muitos problemas complexos. O problema de corte a uma dimensão é um dos exemplos mais simples, entre muitos. Se, há algumas décadas, se usavam heurísticas, hoje é possível encontrar soluções ótimas, ou soluções cuja qualidade pode ser comprovada, a 1 ou 2% da solução ótima. Mas lidar com a complexidade dos problemas é uma guerra em que se vão apenas ganhando algumas batalhas, à medida que melhoramos as nossas armas. O modelo ideal de computação não-determinística não é realizável, mas talvez os novos modelos de computação quântica nos permitam dar passos em frente.

Ao longo de décadas a ensinar Investigação Operacional, o que é que considera ter mudado mais na forma de ensinar e aprender? E o que continua a ser essencial para formação de profissionais que irão aplicar técnicas de IO?

A universidade tem a missão de treinar cada nova geração ao nível mais elevado de conhecimento e de utilização das ferramentas

disponíveis em cada altura. Hoje em dia, o ensino / aprendizagem da IO na Universidade do Minho é muito diferente do tempo em que iniciei a minha carreira. Quando o uso de computadores pessoais se vulgarizou, introduzi trabalhos experimentais, para dar aos alunos a oportunidade de realização de pequenos projetos de IO, que visam desenvolver a capacidade de analisar sistemas complexos, de criar modelos para os descrever, de obter soluções para esses modelos utilizando *software* adequado, de validar os modelos obtidos, de interpretar as soluções obtidas, e de elaborar recomendações para o sistema em análise.

São exemplos o planeamento do corte de rolos de múltiplas larguras, a determinação do circuito euleriano de menor custo, numa aplicação de vigilância de redes de alta tensão por drones, ou o planeamento de operações de equipas no escalonamento com datas fixas. Estes problemas foram escolhidos porque as suas soluções têm uma estrutura que permite verificar as soluções. A validação dos modelos tem uma importância metodológica crucial, e, nestes exemplos, o trabalho de validação permite detetar eventuais incongruências quando as soluções ótimas dos modelos são traduzidas em ações no mundo real.

E há uma questão interessante. Quando surtiu o ChatGPT, escolhi ao acaso uma instância de corte de rolos de múltiplas larguras, porque cada grupo resolve uma diferente, e desafiei-o a encontrar a solução ótima. A resposta não era sequer uma solução admissível, porque os itens atribuídos a alguns rolos excediam a sua capacidade. O resto do diálogo também não foi bom. Recentemente, voltei a fazer o mesmo, e vi melhorias. Em primeiro lugar, indicou um limite inferior para o valor do ótimo, e de seguida forneceu uma solução que era admissível, mas que não era ótima. Quando perguntei se era a solução ótima, ele apresentou um modelo de programação linear inteira, e disse que era, mas não era: tinha um valor cerca de 4% mais elevado do que o da solução ótima encontrada pelos meus alunos. De qualquer forma, é uma solução boa, que eu adotaria, se isso não representasse uma penalidade muito grande. Depois dei-lhe a solução ótima, e ele disse: “Tens razão.”. Acredito que ele irá melhorar, mas também que continua a haver muito espaço para os métodos tradicionais de IO.

Como vê o papel da APDIO na consolidação da comunidade de IO em Portugal e como dinamizador no diálogo entre academia e indústria?

A APDIO tem desenvolvido uma ação extraordinária de disseminação da IO, e tem um número de associados por milhão de habitantes que é ímpar a nível internacional. Tem também realizado ações dinamizadoras do diálogo entre academia e indústria, mas a concretização de ações de colaboração nem sempre é fácil, porque muitas delas requerem principalmente pragmatismo, que é menos valorizado na academia. E não podemos condenar quem se dedica a uma investigação desprovida de aplicações práticas concretas imediatas. Um outro óbice é que a indústria frequentemente pede soluções num instante, e nem sempre existem conhecimentos teóricos ou ferramentas capazes.

Mas a universidade não pode voltar as costas a nenhuma necessidade da sociedade. A academia tem talento e espírito científico, e sei que há muitas ações em curso. Porventura, uma forma de incentivar ainda mais a colaboração seria criar um prémio da APDIO destinado a galardoar a qualidade e a originalidade de trabalhos de aplicação de IO quantificando o seu impacto direto na indústria e nos serviços. A divulgação desses artigos ajudaria, com certeza, a mostrar à sociedade as vantagens da utilização da IO.

“A ESCOLHA DA PALAVRA “PRECISA” NÃO É INDIFERENTE. ETIMOLOGICAMENTE SIGNIFICA PRÉ-CORTADA, PARA MELHOR SE ADAPTAR ÀS NECESSIDADES. E É ISSO QUE SE FAZ QUANDO SE PROCURAM MODELOS MAIS PRECISOS, OU MAIS FORTES, COMO SE DIZ HABITUALMENTE EM PROGRAMAÇÃO INTEIRA”

COMO PODEM AS FERRAMENTAS ANALÍTICAS E O LEAN APOIAR A TOMADA DE DECISÃO EM CONTEXTO DE LEARNING FACTORY?



ANA MARGARIDA SIMÕES

// Aluna da Licenciatura em Engenharia e Gestão Industrial da Universidade de Coimbra
uc2023213466@student.uc.pt



CATARINA FONSECA

// Aluna da Licenciatura em Engenharia e Gestão Industrial da Universidade de Coimbra
uc2023215460@student.uc.pt



PAULO NASCIMENTO

// Professor Auxiliar Convidado da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra e Investigador Colaborador do CEMMPRE
// PhD em Engenharia Mecânica pela Universidade de Coimbra, desenvolvendo investigação em soluções analíticas avançadas sobre problemas de empacotamento e escalonamento da produção em Fabrico Aditivo
pnascimento@dem.uc.pt



CRISTÓVÃO SILVA

// Professor Catedrático da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra e Investigador Integrado do CEMMPRE
// PhD em Engenharia Mecânica pela Universidade de Coimbra, com investigação centrada na área da engenharia e tecnologia aplicada à gestão de processos industriais e cadeias de abastecimento
cristovao.silva@dem.uc.pt



SAMUEL MONIZ

// Professor Auxiliar da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra e Investigador Integrado do CEMMPRE
// PhD pela Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto na área de IO, especializado na investigação de abordagens de otimização, simulação e ciência de dados com aplicações na indústria
// Coordenador da Licenciatura em Engenharia e Gestão Industrial da Universidade de Coimbra
samuel.moniz@dem.uc.pt

Quando falamos em melhoria de processos, as metodologias Lean apresentam ferramentas direcionadas, de elevada aplicabilidade prática e com o potencial elevado de obtenção de resultados. A investigação operacional traz consigo abordagens analíticas que permitem explorar o espaço completo de decisões, permitindo antecipar como os sistemas e processos devem ser desenhados ou devem funcionar. Embora o ensino destas metodologias tenha evoluído, persiste ainda uma lacuna crítica na forma como a experiência de aprendizagem é vivenciada.

As Learning Factories surgem precisamente para colmatar este hiato entre o ensino académico de engenharia integrando processos, produtos, e abordagens analíticas para o desenvolvimento de competências em contextos próximos da realidade industrial. Na ausência de contacto com esta complexidade, tanto estudantes como profissionais acabam sem a preparação necessária para aplicar e adaptar os métodos teóricos a contextos reais.

Na indústria, este desafio manifesta-se frequentemente no desperdício de talento. Operadores com vasta experiência dominam as suas rotinas, mas raramente são capacitados para analisar o sistema de forma global e crítica. Sem uma visão sistémica que considere a interação entre diferentes referências de

Num ambiente produtivo, o imprevisto constitui a única verdadeira constante. Ainda assim, uma parte significativa da formação em gestão industrial continua a privilegiar cenários lineares e previsíveis, nos quais o comportamento dos sistemas é muitas vezes representado em situações de regime estacionário. Esta abordagem é compreensível e necessária do ponto de vista pedagógico, contudo tende a ofuscar a complexidade que os futuros engenheiros enfrentarão em contexto real: variabilidade nos processos e variedade de produtos, flutuações de carga, e ocorrências que colocam os sistemas em esta-

dos não antecipados em fase de planeamento. Este desafio não se limita ao contexto académico: empresas e profissionais também precisam de experiências formativas que reflitam a complexidade real das linhas de produção. Assim, coloca-se a questão central: Como projetar formações que aproximem a aprendizagem prática da realidade industrial, de modo que tanto os futuros engenheiros como profissionais experientes possam compreender, relacionar e aplicar conceitos de melhoria contínua de processos e de investigação operacional, em contextos de complexidade real.



produto e o ritmo da linha, torna-se difícil para quem está no chão de fábrica compreender como as suas decisões individuais impactam indicadores críticos como o Lead Time ou o cumprimento de prazos.

As formações na Factory Lab da Universidade de Coimbra nascem para preencher este espaço através de uma abordagem puramente prática. O Factory Lab é um espaço equipado com diferentes áreas tecnológicas dedicadas à robótica, controlo virtual, realidade aumentada e células de produção, concebido para simular ambientes industriais. A premissa é simples: antes de otimizar, é preciso compreender o problema. Os estudantes, ao serem colocados perante um sistema físico desequilibrado e sujeito a uma procura com diferentes variantes de um produto, são desafiados a abandonar o papel de meros executantes para assumirem o papel de decisores. Aqui, a aprendizagem não acontece por via da exposição teórica passiva, mas sim através da necessidade sentida de resolver a complexidade, tornando a aplicação de conceitos como o Heijunka ou o One-Piece Flow uma consequência lógica e prática da procura por estabilidade.

EXEMPLO DE UMA FORMAÇÃO

A formação está estruturada em três rondas de 30 minutos, intercaladas por momentos de análise e discussão coletiva, onde os participantes são desafiados a gerir um mix de três variantes de produtos em tempo real. Em cada ronda, o objetivo consiste em produzir 36 cilindros pneumáticos de diferentes tipologias, respondendo a encomendas com datas de entrega rigorosas. Este enquadramento permite que os colaboradores, a partir da sua experiência operacional, identifiquem problemas reais e avaliem o impacto das suas decisões através de indicadores como cumprimento de prazos, Lead Time e qualidade. Participam sete formandos, distribuídos por funções-chave ao longo da linha: planeamento da produção, logística, montagem, controlo de qualidade e expedição. Esta organização funcional permite evidenciar a interdependência entre decisões locais e desempenho global do sistema. Na primeira ronda, a linha opera num regime deliberadamente instável, caracterizado por layout e supermercado desorganizados, fluxo de informação pouco claro, sistema de produção do tipo push, transporte centralizado no operador logístico e tamanhos de lote variáveis. A inspeção, confinada ao posto de Qualidade, perpetua um ciclo de deteção e correção que dificulta o cumprimento consistente dos prazos. A experiência direta desta instabilidade permite compreender que muitos problemas não resultam da atuação individual dos operadores, mas do próprio desempenho do sistema.

Este enquadramento traduz-se na formação de filas e em tempos de espera elevados, favorecendo o reconhecimento de desperdícios, lacunas de padronização e fragilidades nos mecanismos

“ESTE DESAFIO NÃO SE LIMITA AO CONTEXTO ACADÉMICO: EMPRESAS E PROFISSIONAIS TAMBÉM PRECISAM DE EXPERIÊNCIAS FORMATIVAS QUE REFLITAM A COMPLEXIDADE REAL DAS LINHAS DE PRODUÇÃO”

de comunicação e no fluxo de trabalho. A impossibilidade de identificar um único gargalo constituiu um resultado pedagógico relevante, uma vez que os participantes experienciam gargalos dinâmicos, sobretudo nos postos de montagem, condicionados pelo mix de produtos. A principal aprendizagem desta fase reside na distinção entre sintomas operacionais e causas estruturais. Na discussão subsequente, a equipa identifica desperdícios, analisa indicadores de desempenho, incluindo On-Time Delivery e lead time, e constrói um Value Stream Mapping simplificado do estado atual. A partir desta análise emergem propostas de melhoria incremental (small kaizens) e a aplicação da técnica dos 5 Porquês, estabelecendo a base para as alterações a implementar na ronda seguinte.

Após a implementação das melhorias propostas, nomeadamente reorganização do layout, maior clareza nos fluxos de informação e redistribuição de responsabilidades logísticas, a



MODELOS DE ESCOLHA DISCRETA E OTIMIZAÇÃO UMA ABORDAGEM COMPORTAMENTAL PARA PROBLEMAS DE DECISÃO



BEATRIZ BRITO OLIVEIRA

// Professora Auxiliar da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto e Investigadora Sénior no INESC TEC (Engenharia de Sistemas e Gestão Industrial)
// PhD em Engenharia e Gestão Industrial pela Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. A sua principal área de atuação é a Investigação Operacional e a Ciência da Gestão, com foco particular na gestão de frotas e pricing, bem como na sua integração em sistemas de mobilidade partilhada.
beatriz.oliveira@fe.up.pt

Muitos dos problemas de otimização tradicionalmente abordados em Investigação Operacional (IO) tratam de decisões do lado da oferta, especialmente em sistemas complexos. Neste contexto, muitos modelos tipicamente recorrem a representações agregadas da procura, assumindo reações e comportamento médios e homogêneos dos indivíduos que, em conjunto, a compõem. Estas aproximações permitiram desenvolver modelos escaláveis, eficientes do ponto de vista computacional, e claramente úteis para os decisores. No entanto, revelam algumas limitações quando a agregação das decisões individuais que resultam na procura esconde efeitos importantes para o sistema e, assim, se revela demasiado simplista.

PORQUÊ INTEGRAR O COMPORTAMENTO EM MODELOS DE OTIMIZAÇÃO?

Em muitos problemas atuais, a procura surge de escolhas feitas por indivíduos com preferências, contextos e sensibilidades distintas. Por exemplo, um desconto aplicado a um serviço pode aumentar a procura total, mas também pode induzir substituições entre alternativas concorrentes ou afetar de forma mais acentuada segmentos específicos de clientes. Representações agregadas, como curvas preço-procura médias, tendem a ocultar estes efeitos e a ignorar a heterogeneidade subjacente ao comportamento individual.

Esta limitação é particularmente relevante em contextos em que as decisões de oferta influenciam diretamente as escolhas dos utilizadores, como em problemas de *pricing*, de desenho de incentivos ou de planeamento de serviços. Nestes casos, a procura não deve ser vista como um parâmetro fixo, mas como um resultado endógeno das decisões tomadas. Capturar esta interação de forma consistente é essencial para desenvolver modelos de apoio à decisão que sejam ao mesmo tempo rigorosos e realistas.

Os modelos de escolha discreta (*Discrete Choice Models*, DCM) oferecem uma forma eficiente de representar, de forma agregada, os componentes individuais da procura, permitindo modelar a heterogeneidade e os padrões de substituição de forma explícita. O objetivo deste artigo é apresentar os fun-

damentos destes modelos e analisar como podem ser integrados em modelos clássicos de otimização, com foco especial em aplicações operacionais.

FUNDAMENTOS DOS MODELOS DE ESCOLHA DISCRETA

Os modelos de escolha discreta, ou DCM, descrevem a procura como resultado de decisões individuais, em que cada utilizador escolhe uma alternativa a partir de um conjunto finito e discreto de opções disponíveis (*choice set*). A unidade fundamental de análise é o indivíduo, e o conjunto de alternativas pode variar entre indivíduos e contextos, podendo até depender, por exemplo, do momento da decisão ou da disponibilidade do serviço.

Estes modelos baseiam-se no princípio da utilidade aleatória, segundo o qual a utilidade u (ou benefício) associada a cada alternativa é composta por uma parte determinística ou sistemática z , função de atributos observáveis, e por uma parte aleatória ϵ (ou erro) que representa fatores não observados, tal que:

$$u = z + \epsilon \quad (1)$$

A componente sistemática da utilidade inclui todos os atributos que podem ser observados. Estes podem ser dependentes da alternativa (como, por exemplo, o preço), do indivíduo (como, por exemplo, a idade), ou ainda da combinação de ambos (como, por exemplo, a distância do utilizador à alternativa). Esta utilidade z é, assim, calculada por meio da ponderação destes atributos com parâmetros que representam o peso de cada componente, podendo ainda incluir parâmetros específicos que representam a preferência intrínseca por cada alternativa. A escolha de cada indivíduo resulta da comparação das utilidades u das alternativas, sendo escolhida a que maximiza o benefício.

Existem diferentes modelos DCM que provêm de pressupostos distintos sobre o termo aleatório ou erro. O modelo *multinomial logit* (MNL) é uma das especificações mais simples e comuns dos DCM, e assume que os erros seguem uma distribuição de Gumbel e que são independentes e identicamente

“OS MODELOS DE ESCOLHA DISCRETA OFERECEM UMA FORMA EFICIENTE DE REPRESENTAR, DE FORMA AGREGADA, OS COMPONENTES INDIVIDUAIS DA PROCURA, PERMITINDO MODELAR A HETEROGENEIDADE E OS PADRÕES DE SUBSTITUIÇÃO DE FORMA EXPLÍCITA”

distribuídos, resultando numa função de probabilidade de escolha P_i de uma alternativa i no conjunto de escolha C dada por:

$$P_i = \frac{\exp(z_i)}{\sum_{j \in C} \exp(z_j)} \quad (2)$$

A adequabilidade dos pressupostos está sempre dependente do contexto de aplicação e, em alguns casos, os pressupostos dos modelos MNL podem ser demasiado restritivos. Extensões destes modelos permitem responder a algumas destas limitações. Os modelos *nested logit*, por exemplo, reconhecem correlações entre alternativas e permitem alternativas semelhantes, enquanto modelos mais flexíveis, como os *mixed logit*, capturam heterogeneidade não observada. Uma alternativa complementar são os modelos *latent class*, nos quais a população de indivíduos é segmentada em classes, cada uma com comportamentos e preferências (isto é, parâmetros de utilidade) próprios. Enquanto os modelos *mixed logit* assumem

heterogeneidade contínua, os modelos *latent class* baseiam-se numa representação discreta, que pode ser mais interpretável. A escolha entre estas especificações envolve um compromisso entre realismo, interpretabilidade e esforço computacional.

A estimação dos parâmetros dos DCM é tipicamente realizada em ambientes reais, maximizando a verossimilhança da estimativa, considerando os *choice sets* e a escolha de cada indivíduo. Embora estes métodos sejam hoje amplamente utilizados, a sua natureza não linear tem implicações diretas quando se pretende integrá-los em problemas de otimização, em particular quando os atributos de utilidade dependem das próprias decisões do modelo de otimização.

INTEGRAR MODELOS DE ESCOLHA DISCRETA COM MODELOS DE OTIMIZAÇÃO

Como discutido acima, em muitos problemas de IO, as decisões de oferta e o comportamento dos utilizadores ou consumidores (isto é, a procura) estão fortemente interligados. Decisões relativas a preços, níveis de serviço ou localização influenciam as escolhas individuais, e o objetivo do decisor é, precisamente, otimizar essas decisões, tendo em conta a procura resultante.

A integração de DCM em modelos de otimização permite representar esta interação de forma explícita, mas acarreta desafios metodológicos. As probabilidades de escolha resultantes de um DCM são, em geral, funções não lineares dos atributos incluídos na utilidade (como visto acima para os modelos MNL, mais simples, para os quais é possível derivar uma expressão analítica em forma fechada), e esses atributos podem depender diretamente das variáveis de decisão. Como consequência, a procura deixa de ser um input exógeno e passa a ser determinada de forma endógena pelas decisões do modelo. Esta característica entra em tensão com a prática dominante na IO, que privilegia formulações lineares ou inteiras mistas, devido à sua tratabilidade. No entanto, a literatura recente mostra que é possível avançar para modelos integrados recorrendo, por exemplo, a reformulações e aproximações controladas. Diferentes estratégias têm sido propostas, variando quanto ao grau de realismo

e à complexidade computacional. A escolha do tipo de DCM, o nível de desagregação espacial e temporal e a forma como a procura é incorporada no modelo de otimização têm um impacto direto na dimensão do problema e na qualidade das soluções obtidas. Mais informações sobre DCM podem ser encontradas em [1], assim como uma revisão completa e um enquadramento geral da sua integração com modelos de otimização em [2].

UM EXEMPLO DE INTEGRAÇÃO DE DCM E OTIMIZAÇÃO EM MOBILIDADE PARTILHADA

Sistemas de mobilidade partilhada constituem um exemplo particularmente adequado para ilustrar a integração de modelos de escolha discreta e modelos de otimização. Em particular, sistemas de *carsharing* (sistemas de automóveis partilhados) baseiam-se numa frota gerida de forma central e utilizada por múltiplos utilizadores para viagens de curta duração, com elevada flexibilidade. Operacionalmente, os sistemas de *carsharing* dependem de decisões de *pricing* (quanto cobrar por uma viagem específica) e de reposicionamento da frota (isto é, se é necessário movimentar veículos desocupados para zonas de maior procura). Estas decisões permitem equilibrar a oferta e a

“A UNIDADE FUNDAMENTAL DE ANÁLISE É O INDIVÍDUO, E O CONJUNTO DE ALTERNATIVAS PODE VARIAR ENTRE INDIVÍDUOS E CONTEXTOS, PODENDO ATÉ DEPENDER, POR EXEMPLO, DO MOMENTO DA DECISÃO OU DA DISPONIBILIDADE DO SERVIÇO”

“A ESTIMAÇÃO DOS PARÂMETROS DOS DCM É TÍPICAMENTE REALIZADA EM AMBIENTES REAIS, MAXIMIZANDO A VEROSSIMILHANÇA DA ESTIMATIVA, CONSIDERANDO OS CHOICE SETS E A ESCOLHA DE CADA INDIVÍDUO”

procura no espaço e no tempo - isto é, ter a frota disponível onde e quando os utilizadores precisam - não só movendo os veículos (ajustando a oferta à procura), mas também influenciando os utilizadores a escolher determinadas viagens através de descontos (ajustando a procura à oferta). Nestes sistemas, a procura resulta da soma de decisões individuais de utilizadores que escolhem entre utilizar um carro partilhado ou outra alternativa para uma viagem que vão realizar. Estas escolhas são influenciadas por atributos como o preço, o tempo, a distância ou a conveniência.

Este contexto é descrito em detalhe em [3]. Neste trabalho, as decisões de *pricing* e de reposicionamento da frota são otimizadas simultaneamente, com base num modelo de escolha discreta que representa explicitamente a resposta comportamental dos utilizadores ao preço das viagens e à disponibilidade dos veículos.

Neste problema, considera-se que uma cidade é dividida num conjunto de áreas e que o horizonte temporal é discretizado num conjunto de períodos. Um *tipo de viagem* agrega reservas de veículos partilhados que ocorrem entre uma área de recolha do carro e uma área de entrega, com início num dado período de tempo. Assume-se que a duração das viagens depende do tempo de deslocação entre as áreas de recolha e de entrega, bem como do instante de início, de modo a refletir, por exemplo, variações nas condições de tráfego. Assume-se ainda que os reposicionamentos têm a mesma duração que as viagens com a mesma origem e destino (espacial e temporal) e que trazem um custo proporcional a essa duração ao operador de *carsharing*. O objetivo é maximizar o lucro, tomando estas duas decisões operacionais: que preço cobrar por minuto por cada tipo de viagem e que veículos reposicionar a cada momento para atender à procura.

Em vez de tratar a procura por cada tipo de viagem como um input fixo, o modelo incorpora a relação entre decisões de oferta e procura ao nível individual, permitindo que alterações no *pricing* se traduzam diretamente

em mudanças nas probabilidades de escolha. Para ser possível resolver este modelo, é proposta uma abordagem que categoriza as viagens com base em características espaciais e temporais, como áreas de origem e de destino e janelas temporais de início e fim. Estas categorias são utilizadas como variáveis explicativas nos DCM, permitindo agrupar diferentes viagens sob um modelo de utilidade comum. Esta estratégia reduz a dimensão do problema e melhora a qualidade da estimação, uma vez que viagens com poucas observações beneficiam de informação proveniente de viagens semelhantes.

A Tabela 1 apresenta exemplos de como os diferentes atributos podem ser categorizados. Demonstra ainda como a associação a cada categoria pode ser realizada através de variáveis binárias auxiliares. Por exemplo,

“DECISÕES RELATIVAS A PREÇOS, NÍVEIS DE SERVIÇO OU LOCALIZAÇÃO INFLUENCIAM AS ESCOLHAS INDIVIDUAIS, E O OBJETIVO DO DECISOR É, PRECISAMENTE, OTIMIZAR ESSAS DECISÕES, TENDO EM CONTA A PROCURA RESULTANTE”

Viag.	i	j	t	Cat. (i)	Cat. (j)	Cat. (j)	ATRIBUTOS							
							Tempo de início		Área de recolha		Área de entrega		Preço	
							m_{Pico}	m_{Reg}	n_{Pico}	n_{Reg}	l_{Pico}	l_{Reg}		
1	2	7	8h	Pico	Pico	Pico	1	0	1	0	1	0	10	
2	5	8	8h	Pico	Pico	Reg.	1	0	1	0	0	1	15	
3	5	9	15h	Reg.	Reg.	Pico	0	1	0	1	1	0	10	
4	9	1	18h	Pico	Reg.	Pico	1	0	0	1	0	1	5	
...	
Parâmetros da utilidade sistemática:							α	β_{Pico}^1	β_{Reg}^1	β_{Pico}^2	β_{Reg}^2	β_{Pico}^3	β_{Reg}^3	β^4

Tabela 1. Exemplo de utilização de variáveis binárias auxiliares e de categorias para agrupar as áreas de recolha (i) e de entrega (j) e os períodos de início (t) em duas categorias: “Pico” e “Regular (Reg.)”. Adaptado de [3]

“OS SISTEMAS DE CARSHARING DEPENDEM DE DECISÕES DE PRICING (QUANTO COBRAR POR UMA VIAGEM ESPECÍFICA) E DE REPOSICIONAMENTO DA FROTA (ISTO É, SE É NECESSÁRIO MOVIMENTAR VEÍCULOS DESOCUPADOS PARA ZONAS DE MAIOR PROCURA)”

para a viagem 2, $m_{Pico}=1$, $n_{Pico}=1$, $l_{Reg}=1$ indicam que esta se inicia num horário de pico e numa área muito requisitada, mas termina numa área menos movimentada. Desta forma, os parâmetros da utilidade sistemática de cada categoria são associados à componente sistemática da utilidade (de forma simplificada) por:

$$z = \alpha + \sum_{t'} (\beta_{t'}^1 \cdot m_{t'}) + \sum_{i'} (\beta_{i'}^2 \cdot n_{i'}) + \sum_{j'} (\beta_{j'}^3 \cdot l_{j'}) + \beta^4 \cdot \text{price} \quad (3)$$

onde α é o parâmetro que representa a preferência intrínseca por *carsharing*, β os pesos de cada um dos atributos da viagem, e t' , i' , j' são índices que iteram, respetivamente, no conjunto de categorias definidas para tempos de início, áreas de recolha e áreas de entrega.

O preço final de uma viagem num veículo partilhado depende de um preço base por período, do desconto a oferecer (que são as variáveis de decisão do problema) e da duração da viagem. A não linearidade introduzida pelo DCM, pelo facto de a utilidade depender do preço, é tratada por meio da definição de um conjunto discreto de níveis de desconto admissíveis. Esta discretização permite pré-processar o modelo de escolha e calcular, antecipadamente, a

procura esperada associada a cada nível, possibilitando a incorporação da procura no modelo de otimização por meio de parâmetros previamente calculados.

Neste contexto, assume-se que é conhecida a procura potencial total para uma viagem com início num dado período e com áreas de recolha e de entrega do veículo conhecidas. Foi utilizado um modelo logit binário, que é um caso específico do MNL em que há apenas duas escolhas. Assumiu-se, assim, que cada indivíduo escolhe se recorre a um carro partilhado ou não (isto é, se recorre a uma alternativa externa). Assim, com base nas equações (2) e (3), estima-se a fração da procura potencial que escolhe a alternativa de *carsharing*.

Com a discretização dos níveis de desconto admissíveis, é possível calcular, para cada nível de preço e tipo de viagem, a probabilidade de escolher a opção de *carsharing* (isto é, a proporção da procura potencial que opta por esta opção em cada viagem) antes da execução do modelo. Isto permite incluir esta função da procura de forma linear no modelo.

Como se vê, as decisões de *pricing* influenciam a procura esperada, que, por sua vez, afeta decisões operacionais, como o reposicionamento de veículos e a utilização da frota. Ao definir preços e operações de forma conjunta, o modelo captura explicitamente a interação entre o comportamento dos utilizadores e o desempenho operacional.

A Figura 1 ilustra esquematicamente esta interação. No centro deste *framework*, encontra-se um modelo de otimização que integra o modelo de escolha discreta, determinando níveis ótimos de preço e decisões de reposicionamento de veículos, de modo a equilibrar oferta e procura. O modelo DCM proposto permite explorar informação proveniente de viagens semelhantes, melhorando a qualidade da estimativa. Para reduzir a complexidade do modelo, é proposta uma categorização das viagens que diminui o número de parâmetros a estimar, reduzindo simultaneamente os requisitos de dados e o tempo computacional, sem comprometer a precisão do modelo. O sistema opera num ambiente de aprendizagem contínua, no qual as respostas do mercado às deci-

sões tomadas são observadas e incorporadas progressivamente, permitindo melhorar de forma dinâmica tanto a estimação da procura como a qualidade das decisões operacionais.

DESAFIOS E FUTURAS DIREÇÕES DE INVESTIGAÇÃO

A integração de DCM com modelos de otimização levanta desafios computacionais que se tornam particularmente relevantes à medida que o problema aumenta de dimensão. Um primeiro conjunto de desafios está associado à estimação dos parâmetros dos modelos de escolha, sobretudo quando se recorre a especificações comportamentais mais ricas. A disponibilidade de dados, a definição do nível de agregação e a estabilidade das estimativas condicionam diretamente a forma como a procura pode ser integrada no problema de decisão. Estas escolhas, ao nível da estimação, têm impacto direto na otimização. Representações demasiado detalhadas podem amplificar a complexidade computacional, enquanto aproximações excessivamente agregadas

“O SISTEMA OPERA NUM AMBIENTE DE APRENDIZAGEM CONTÍNUA, NO QUAL AS RESPOSTAS DO MERCADO ÀS DECISÕES TOMADAS SÃO OBSERVADAS E INCORPORADAS PROGRESSIVAMENTE, PERMITINDO MELHORAR DE FORMA DINÂMICA TANTO A ESTIMAÇÃO DA PROCURA COMO A QUALIDADE DAS DECISÕES OPERACIONAIS”

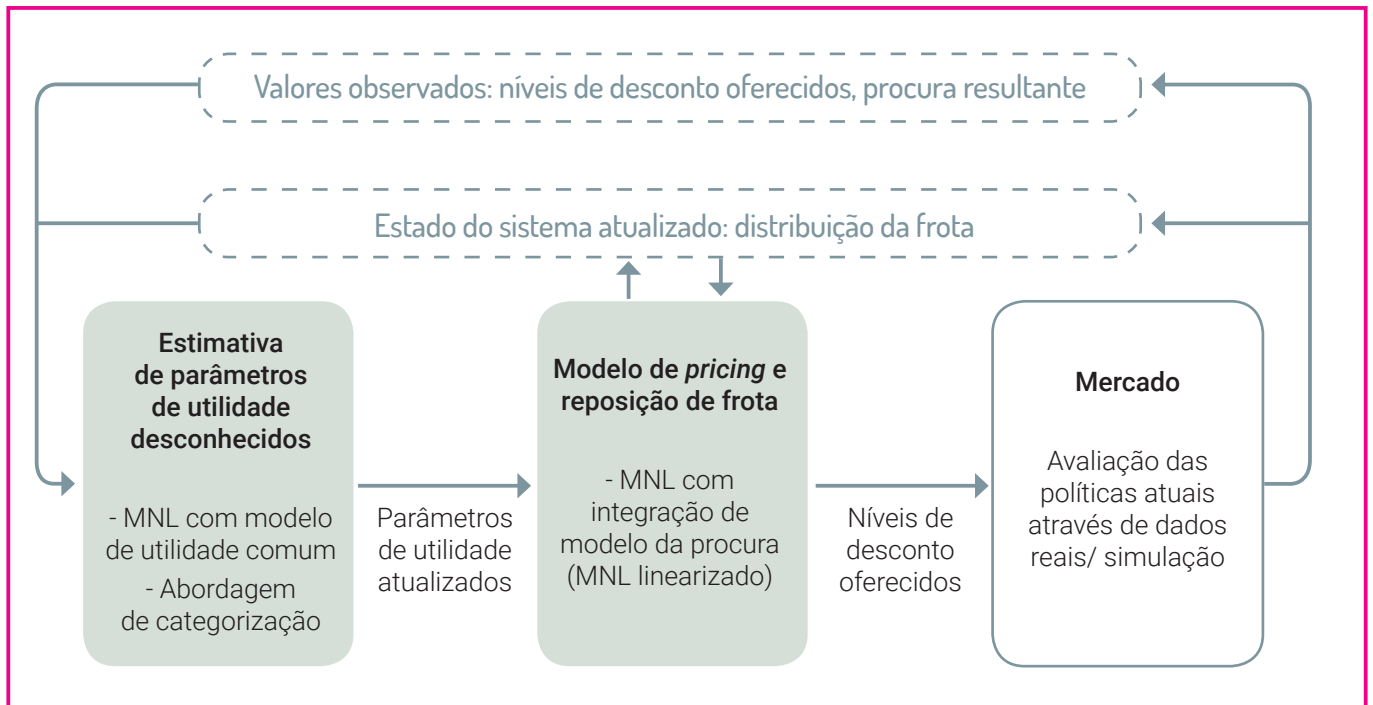


Figura 1- Framework de integração dos modelos de escolha discreta com otimização. Adaptado de [3]

podem eliminar variações comportamentais relevantes. Um segundo conjunto de desafios emerge ao nível da otimização propriamente dita, uma vez que a procura endógena introduz não linearidades e aumenta a dimensão do espaço de decisão. Para além destes aspetos estruturais, a incerteza comportamental permanece uma fonte crítica de risco. Mesmo modelos bem estimados estão sujeitos à variabilidade individual e à evolução das preferências ao longo do tempo. Abordagens que integrem mecanismos adaptativos e aprendizagem contínua surgem, por isso, como uma linha promissora para investigação futura. Muitos problemas contemporâneos de IO

exigem uma representação da procura que vá além de relações agregadas simples. Em contextos em que as decisões dependem do comportamento de indivíduos, os modelos de escolha discreta constituem uma ferramenta madura para capturar a heterogeneidade e a resposta a incentivos. Embora a sua integração com modelos clássicos de otimização introduza desafios, estes podem ser ultrapassados através de escolhas de modelação informadas e inovadoras. Mais do que uma limitação técnica, a integração entre comportamento e otimização representa uma oportunidade para desenvolver modelos de apoio à decisão mais realistas e relevantes.

“MAIS DO QUE UMA LIMITAÇÃO TÉCNICA, A INTEGRAÇÃO ENTRE COMPORTAMENTO E OTIMIZAÇÃO REPRESENTA UMA OPORTUNIDADE PARA DESENVOLVER MODELOS DE APOIO À DECISÃO MAIS REALISTAS E RELEVANTES”

REFERÊNCIAS

- [1] Train, K. E. (2009). *Discrete Choice Methods with Simulation* (2 ed.). Cambridge: Cambridge University Press.
- [2] Paneque, M. P., M. Bierlaire, B. Gendron, and S. S. Azadeh (2021). *Integrating advanced discrete choice models in mixed integer linear optimization*. *Transportation Research Part B: Methodological* 146, 26–49.
- [3] Oliveira, B. B. and S. D. Ahipasaoglu (2025). *Enhancing carsharing pricing and operations through integrated choice models*. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review* 195.

DA ABSTRAÇÃO À AÇÃO: A INVESTIGAÇÃO OPERACIONAL COMO MOTOR DE DECISÃO

Vivemos numa era de volatilidade sem precedentes. A complexidade das cadeias de abastecimento globais, a flutuação dos custos das matérias-primas e a exigência por personalização em massa criaram um cenário industrial onde a intuição e a experiência empírica, outrora suficientes, já não bastam. É neste ecossistema de incerteza que a Investigação Operacional (IO) deixa de ser uma disciplina puramente académica para se tornar um imperativo de sobrevivência e competitividade.

No entanto, persiste um hiato silencioso, mas profundo, entre os centros de produção de conhecimento (universidades) e os centros de aplicação de valor (indústria). Como Louis Pasteur sabiamente afirmou: “Não existem ciências aplicadas, mas sim aplicações da ciência”. Esta distinção é crucial. Muitas vezes, a indústria olha para a academia como uma “torre de marfim”, desconectada dos ritmos frenéticos do mercado, enquanto a academia pode ver a indústria como um ambiente avesso ao rigor metodológico.

O desafio que enfrentamos hoje não é a falta de tecnologia, mas a falta de tradução. É preciso traduzir problemas complexos de negócio em modelos matemáticos robustos e, subsequentemente, traduzir as soluções ótimas em decisões executáveis no chão de fábrica. Sem esquecer que o conhecimento não resolve tudo, que a prática tem os seus próprios desafios e que, no fim de contas, é a realidade que manda. Como na velha anedota em que um homem embriagado procurava a chave perdida debaixo da luz de um candeeiro, e quando interpelado, se fora ali que a perdera, respondeu que não, mas era ali que havia luz para a procurar. *“Quantas situações não há em que se prefere olhar para onde há mais luz (a teoria que se defende o método que se domina ou que está na moda), esquecendo o óbvio local da incerteza, o propósito da investigação?”*[1].

Um dos maiores obstáculos na transferência de conhecimento é a percepção errónea sobre o valor do capital humano altamente qualificado, especificamente os doutorados, no ambiente empresarial. Existe um mito enraizado de que a hiperespecialização de um doutoramento afunila o profissional para um nicho tão estreito que o torna inapto para a versatilidade exigida pela indústria. A mais-valia de um Doutoramento em IO, ou áreas afins, não reside apenas no co-

hecimento enciclopédico sobre um algoritmo específico ou uma heurística de nicho. Reside, sim, na plasticidade mental, na capacidade de abstração e de um caminho metodológico contínuo e permanente, sempre insatisfatório, cientificamente, mas indispensável.

Quem percorre o caminho da investigação avançada treina o cérebro para desconstruir problemas complexos, identificar variáveis críticas, modelar a estocasticidade e testar cenários de forma rigorosa. Esta competência é agnóstica ao setor. A mesma lógica matemática que otimiza o fluxo sanguíneo numa simulação biomédica pode ser recalibrada para otimizar o fluxo de componentes numa linha de montagem automóvel.

Como Peter Drucker, o pai da gestão moderna, observou: “O conhecimento tem de ser melhorado, desafiado e aumentado constantemente, ou desaparece”. O profissional com formação avançada traz não apenas “respostas”, mas uma metodologia para fazer as “perguntas” certas. Isto ajuda as organizações a responderem não apenas melhor, mas mais rápido. Numa crise, a capacidade de reparametrizar um modelo de otimização em horas vale mais do que semanas de reuniões baseadas em palpites. Não o ter implica não decidir, ou fazer o futuro com base na experiência, intuição ou sorte [2].

A passagem do conhecimento do meio académico para o industrial não é isenta de atrito. A indústria opera em tempos curtos e objetivos paralelos e muitas vezes contraditórios; a academia opera em tempos de semestres letivos e revisões pelos pares.

Para a indústria, um modelo 95% preciso entregue hoje é infinitamente superior a um modelo 99.9% preciso entregue daqui a três meses. O operacional de ciência na indústria tem de aprender a arte da “satisfiability” (satisfação de restrições com qualidade aceitável) em detrimento da procura obsessiva pelo ótimo global, se esse ótimo custar a janela de oportunidade do mercado.

Este choque cultural exige mediadores. Exige empresas dispostas a investir tempo e universidades dispostas a sujar as mãos com a “confusão” dos dados reais, que raramente seguem as distribuições normais perfeitas.

As organizações modernas, neste mundo de mudanças extremas num curto espaço de tempo, não podem ficar à espera que o conhe-



JOÃO PIRES RIBEIRO

// Warehouse & Logistics Projects Leader na Visteon Portugal e Vice-Presidente da VOST Portugal (Associação de Voluntários Digitais em Situações de Emergência)

// PhD em Engenharia e Gestão pelo Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa com a tese intitulada “Quantitative tools to aid decision-making towards Resilient Supply Chains”. Investigador no Centro de Estudos de Gestão do Instituto Superior Técnico, com foco na resiliência e sustentabilidade das cadeias de abastecimento.
jribeil7@visteon.pt

“É PRECISO TRADUZIR PROBLEMAS COMPLEXOS DE NEGÓCIO EM MODELOS MATEMÁTICOS ROBUSTOS E, SUBSEQUENTEMENTE, TRADUZIR AS SOLUÇÕES ÓTIMAS EM DECISÕES EXECUTÁVEIS NO CHÃO DE FÁBRICA”

cimento chegue até elas por osmose. É imperativo assumir uma postura proativa no fomento de uma relação simbiótica entre os diferentes atores criadores de valor. A abordagem industrial à IO não deve ser a de um cliente que compra um serviço estanque, mas a de um parceiro estratégico que co-constrói soluções para a gestão complexa de operações.

Em ambientes de elevada complexidade logística e produtiva, a implementação de uma estratégia de “portas abertas”, controlada e focada, revela-se transformadora. O trabalho colaborativo de sucesso deve basear-se em três pilares fundamentais que tentamos seguir na Visteon no nosso dia a dia e nas colaborações que estabelecemos:

Acesso a Dados Reais: Um dos maiores obstáculos para um estudante ou investigador de IO é a frequente falta de dados credíveis. A indústria deve estar disposta a abrir (com a devida confidencialidade) os seus “cofres” de dados. Permitir que teses de mestrado e doutoramento sejam desenvolvidas não sobre problemas hipotéticos, mas sobre gargalos reais que conferem ao estudante um sentido de propósito inestimável e oferece à empresa uma consultoria de alto nível científico.

Mentoria Bidirecional: Ocorre uma troca vital de perspetivas: os especialistas internos da empresa orientam os estudantes na dura realidade do negócio e das restrições operacionais, enquanto os alunos e os seus professores trazem para o “chão de fábrica” as mais recentes inovações científicas e metodológicas mantendo ambas as partes na crista da onda.

Construção de Confiança Incremental: Ninguém “casa” no primeiro encontro. As relações sólidas com os centros de investigação começam frequentemente com pequenos estágios e projetos de curto prazo. À medida que os resultados aparecem – seja uma redução de stock, uma otimização de rota ou um melhor sequenciamento – a confiança cresce. É este

histórico que permite discutir parcerias mais profundas, focadas em horizontes temporais longos.

Esta estratégia permite ao tecido empresarial absorver competências, aplicando-as diretamente na melhoria da eficiência. Prova-se, assim, que a teoria, quando bem direcionada, paga-se a si mesma múltiplas vezes.

A aplicação prática destas competências permite às empresas transitarem de um modelo reativo para um modelo preditivo e prescritivo, fundamental para uma cadeia de abastecimento resiliente [3]. Mais do que definir o conceito, torna-se imperativo operacionalizá-lo através de modelos que sirvam de suporte efetivo à decisão em cenários de stress [4].

Imagine-se o desafio transversal de gerir cadeias de abastecimento globais em cenários de escassez. Sem IO, a gestão corre o risco de ser feita de forma ad hoc, por e-mail e folhas de cálculo estáticas, potenciando o erro humano e ou a não decisão. A hiperespecialização de colaboradores doutorados e parceiros académicos permite desenhar um mundo digital, torna-se possível testar o impacto da introdução de um novo produto, ou simular falhas e observar a recuperação do sistema. Esta é a verdadeira “mais-valia” do doutoramento em ação: a capacidade de ver o invisível e quantificar o risco antes que ele se materialize.

Como disse W. Edwards Deming: “Sem dados, você é apenas mais uma pessoa com uma opinião”. A IO oferece a estrutura necessária para transformar esses dados em factos irrefutáveis. O caminho para o futuro exige que derrubemos definitivamente os muros entre a fábrica e a universidade. Portugal possui uma comunidade de IO vibrante e reconhecida internacionalmente. O tecido industrial, por sua vez, enfrenta desafios de produtividade e competitividade que só podem ser resolvidos com inteligência, e não apenas com força bruta.

Para replicar este sucesso de forma transversal,

é necessário que os gestores percamos o medo da complexidade académica e que os académicos percamos o receio do pragmatismo industrial. É fundamental criar ecossistemas onde a inovação seja medida pelo impacto no EBITDA, mas também pela criação de novo conhecimento aplicável.

A IO é a gramática da eficiência e a linguagem da decisão complexa. Ao integrarmos a investigação no coração da nossa estratégia industrial, não estamos apenas a resolver problemas do dia-a-dia; estamos a elevar o nível de sofisticação de toda a nossa operação.

A colaboração com o Ensino Superior não é “caridade” nem apenas responsabilidade social corporativa; é uma estratégia de negócios pura e dura. É a única forma de garantir que, quando a próxima crise global bater à porta, teremos os modelos, as mentes e os métodos prontos para responder lado a lado com a experiência empírica e com o saber fazer de quem traz a experiência.

Este exemplo pode servir de convite a toda a comunidade da APDIO: a indústria precisa do vosso conhecimento. E, arrisco dizer, a vossa ciência será muito mais rica quando testada no fogo da realidade industrial.

“A ABORDAGEM INDUSTRIAL À INVESTIGAÇÃO OPERACIONAL NÃO DEVE SER A DE UM CLIENTE QUE COMPRA UM SERVIÇO ESTANQUE, MAS A DE UM PARCEIRO ESTRATÉGICO QUE CO-CONSTRÓI SOLUÇÕES PARA A GESTÃO COMPLEXA DE OPERAÇÕES”

Referências

- [1] Pereira, O & Pires, J. (2004). *Representações Sociais: Entre o Objeto e o Método*. In C. Soares e L. Amâncio (Org). *Em torno da Psicologia: Homenagem a Jorge Correia Jesuino*. Lisboa: Livros Horizonte (pp 83-92).
- [2] Ribeiro, J.P., Barbosa-Póvoa, A.P.F.D. (2023). A responsiveness metric for the design and planning of resilient supply chains. *Ann Oper Res* 324, 1129–1181. <https://doi.org/10.1007/s10479-022-04521-w>
- [3] Ribeiro, J. P., & Barbosa-Povoa, A. (2018). Supply Chain Resilience: Definitions and quantitative modelling approaches—A literature review. *Computers & industrial engineering*, 115, 109-122 <https://doi.org/10.1016/j.cie.2017.11.006>
- [4] Batista, M., Ribeiro, J.P., Barbosa-Póvoa, A. (2023). Supply Chain Resilience: Tactical-Operational Models, a Literature Review. In: Almeida, J.P., Alvelos, F.P.e., Cerdeira, J.O., Moniz, S., Requejo, C. (eds) *Operational Research. APDIO 2022. Springer Proceedings in Mathematics & Statistics*, vol 437. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-46439-3_12

APOIAR DECISÕES COM ATORES-CHAVE EM SAÚDE: AVALIAÇÃO MULTICRITÉRIO DE DISPOSITIVOS MÉDICOS

ENQUADRAMENTO

A Avaliação de Tecnologias de Saúde (ATS) é um processo fundamental para apoiar decisões informadas sobre a introdução, utilização e financiamento de tecnologias de saúde nos sistemas de cuidados, visando promover equidade, eficiência e qualidade [1]. Estas tecnologias são utilizadas em intervenções desenvolvidas para prevenir, diagnosticar ou tratar condições médicas, promover a saúde, apoiar a reabilitação ou organizar a prestação de cuidados, podendo assumir a forma de dispositivos médicos, medicamentos, testes, vacinas, procedimentos, programas ou sistemas [1].

Ao longo das últimas décadas, a ATS consolidou-se como um processo multidisciplinar que recorre a métodos explícitos para determinar o valor destas tecnologias ao longo do seu ciclo de vida [1], apoiando decisões como reembolso e priorização [2]. No entanto, a forma como estas avaliações são operacionalizadas continua, em muitos contextos, fortemente centrada em análises económicas tradicionais, em particular custo-efetividade [3].

Embora essenciais, estas abordagens tendem a captar apenas parte do que é discutido nos processos reais de decisão. Aspectos como impacto organizacional, facilidade de utilização, interação tecnologia-utilizador, ou impacto ambiental surgem frequentemente nas deliberações, mas raramente são tratados de forma estruturada [3]. Como resultado, existe frequentemente um desfasamento entre os modelos analíticos formais e os critérios efetivamente considerados pelos decisores [4].

DISPOSITIVOS MÉDICOS: DESAFIOS ESPECÍFICOS NA AVALIAÇÃO

Estas limitações tornam-se particularmente evidentes na avaliação de dispositivos médicos. Ao contrário dos medicamentos, os dispositivos caracterizam-se por uma forte dependência do utilizador, ciclos de inovação rápidos e frequentemente incrementais, elevada heterogeneidade tecnológica e difi-

culdades na geração de evidência robusta, nomeadamente pela complexidade em conduzir ensaios clínicos randomizados clássicos [4,5]. Além disso, os dispositivos são frequentemente avaliados e selecionados em contextos locais, como hospitais, onde fatores organizacionais e operacionais assumem um peso relevante na decisão [6]. Reconhecendo estas especificidades, a União Europeia tem vindo a atualizar desde 2017 os regulamentos para dispositivos médicos e diagnóstico in vitro [7,8], bem como para ATS [9], reforçando a necessidade de abordagens de avaliação mais sistemáticas, transparentes e participadas.

ENVOLVIMENTO DE ATORES E EXPLICITAÇÃO DE CRITÉRIOS

O envolvimento de atores-chave tem sido progressivamente apontado na literatura como um meio para lidar com algumas das limitações identificadas nos processos de ATS, em particular no que se refere à explicitação de critérios de valor e à adequação das avaliações aos contextos de decisão [6]. A diversidade de perspetivas é particularmente relevante quando o objetivo é explicitar critérios de valor que vão além da evidência clínica e económica.

Na prática, contudo, a participação de doentes, cidadãos e outros grupos relevantes permanece frequentemente indefinida, limitada ou pouco estruturada [10]. Isto levanta desafios não apenas de legitimidade, mas também de operacionalização: quem envolver, quando, e de que forma integrar contributos diversos num processo de avaliação coerente.

UMA ABORDAGEM MULTICRITÉRIO PARTICIPATIVA

De forma a contribuir para os desafios identificados, foi explorada a utilização da Análise Multicritério de Decisão (MCDA) como forma de estruturar a avaliação de dispositivos médicos, integrando múltiplos critérios e perspetivas [11,6]. Ao integrar sistematicamente múltiplos critérios e as preferências de di-



LILIANA FREITAS

// Decision Scientist na Value for Health CoLAB (VOH.CoLAB), Lisboa e Investigadora no Centro de Estudos de Gestão do Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa.
// PhD em Engenharia e Gestão pelo Instituto Superior Técnico, com investigação centrada no desenvolvimento de ferramentas de gestão aplicadas à saúde, explorando análise multicritério e abordagens sociotécnicas, Avaliação de Tecnologias de Saúde e Behavioural Operational Research
liliana.freitas@tecnico.ulisboa.pt

**“AO CONTRÁRIO DOS
MEDICAMENTOS,
OS DISPOSITIVOS
CARACTERIZAM-SE POR
UMA FORTE DEPENDÊNCIA
DO UTILIZADOR, CICLOS
DE INOVAÇÃO RÁPIDOS
E FREQUENTEMENTE
INCREMENTAIS, ELEVADA
HETEROGENEIDADE
TECNOLÓGICA E DIFICULDADES
NA GERAÇÃO DE EVIDÊNCIA
ROBUSTA (...)”**



Figura 1: Exemplo de abordagem sociotécnica seguida para avaliação de pacemakers.

ferentes atores num modelo transparente e estruturado, a MCDA promove a responsabilidade e clareza na decisão. Adicionalmente, a sua aplicação em articulação com uma abordagem de Modelação Colaborativa de Valor (*Collaborative Value Modelling*, [12]), que combina processos participativos de larga escala, como Web-Delphi, com técnicas multicritério em pequenos grupos, possibilita o envolvimento de grupos mais alargados e diversificados na avaliação.

O trabalho desenvolvido estruturou-se em três vertentes principais. Numa primeira vertente, analisou-se quem participa nos processos de avaliação e quais os papéis desempenhados por diferentes grupos. Através de entrevistas a peritos de ATS e profissionais hospitalares portugueses (recorrendo a uma adaptação da *Critical Systems Heuristics*, [13]), foi possível não apenas identificar atores relevantes como profissionais de saúde, decisores hospitalares, compradores, indústria, doentes e cidadãos, mas também clarificar os seus papéis, interesses e contributos esperados. Como resultado, este exercício permitiu tornar explícitos racionais

frequentemente implícitos nos processos de avaliação e fornecer orientações práticas para estruturar o envolvimento de atores e clarificar quem envolver, com que objetivos e em que dimensões da decisão (detalhado em [14]).

Numa segunda vertente, exploraram-se os aspetos de valor considerados relevantes por diferentes grupos de atores na avaliação de dispositivos médicos. Um processo Web-Delphi permitiu recolher e sintetizar, de forma estruturada, as perspetivas de um conjunto de 134 participantes sobre a relevância de 34 critérios para dois tipos de dispositivos: implantáveis e testes *in vitro* baseados em biomarcadores. Os resultados (que podem ser consultados em [15]) mostraram níveis de concordância moderados a substanciais entre grupos de participantes e confirmaram o carácter multidimensional do valor destes dispositivos. Foram identificados critérios que vão além da efetividade e dos custos, como aspetos relacionados com a utilização prática, o impacto organizacional e a integração nos cuidados, fornecendo uma base concreta para a estruturação de

modelos de avaliação mais consistentes e abrangentes.

A terceira vertente centrou-se na aplicação dos resultados anteriores em contextos hospitalares reais. Através de uma abordagem sociotécnica e recorrendo ao método multicritério MACBETH (*Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique*, [16]), foram construídos modelos de apoio à decisão para a avaliação de biomarcadores emergentes no cancro da mama e para a avaliação de pacemakers em doentes com bradicardia (exemplo de atividades da abordagem sociotécnica disponível na Figura 1). Esta abordagem permitiu estruturar discussões entre profissionais e decisores, tornar explícitos os critérios utilizados e os *trade-offs* entre alternativas, bem como identificar prioridades e necessidades de evidência. Em ambos os casos, os exercícios mostraram-se úteis para apoiar decisões em contextos caracterizados por inovação rápida, múltiplas opções tecnológicas e evidência limitada.

Em conjunto, estas três vertentes mostraram que é possível estruturar a avaliação de

“AO INTEGRAR SISTEMATICAMENTE MÚLTIPLOS CRITÉRIOS E AS PREFERÊNCIAS DE DIFERENTES ATORES NUM MODELO TRANSPARENTE E ESTRUTURADO, A MCDA PROMOVE A RESPONSABILIDADE E CLAREZA NA DECISÃO”

dispositivos médicos de forma mais transparente e consistente, articulando a clarificação de quem deve ser envolvido, do que deve ser avaliado e de como essa informação pode ser utilizada na prática. Os resultados apontam para a importância de processos de avaliação mais inclusivos, que assegurem o envolvimento sustentado dos atores relevantes ao longo do processo, clarificando quando, como e com que propósito os seus contributos são integrados. Evidenciam também a necessidade de avaliações mais abrangentes, sensíveis às características específicas dos dispositivos e aos contextos de utilização, como condição para apoiar decisões mais equitativas e informadas sobre o acesso à inovação. Por fim, reforçam o valor de enquadramentos colaborativos e consistentes, baseados na cooperação entre entidades de ATS, academia e indústria, e na partilha de critérios, orientações e requisitos de evidência, contribuindo para um ecossistema de ATS mais integrado e transparente.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em conjunto, estes exemplos mostraram como é possível tornar a avaliação de dispositivos médicos mais transparente e próxima da realidade da decisão, sem recorrer a mo-

delos excessivamente complexos. Ao explicitar critérios, integrar perspectivas diversas e estruturar a discussão, a MCDA funcionou como uma ferramenta de apoio à reflexão e à decisão.

Num contexto de rápida evolução tecnológica e de crescente pressão sobre os sistemas de saúde, métodos que ajudem a estruturar decisões complexas tornam-se particularmente relevantes. A experiência descrita neste trabalho mostra que abordagens multicritério e participativas podem apoiar a identificação de critérios de valor, clarificar o papel de diferentes atores e facilitar a construção de avaliações ajustadas a contextos reais, como os hospitais. Ao mesmo tempo, estes exercícios evidenciam oportunidades para desenvolver modelos e processos mais integrados ao longo do ciclo de vida das tecnologias, bem como para adaptar a ATS a novos tipos de dispositivos (como, por exemplo, dispositivos médicos digitais). Neste sentido, a aplicação da MCDA na ATS de dispositivos médicos, constitui um campo fértil tanto para a prática como para a colaboração entre academia, indústria, e instituições de saúde e decisores, contribuindo para avaliações mais estruturadas e alinhadas com os desafios atuais.

Referências

- [1] O'Rourke B, Oortwijn W, Schuller T. The new definition of health technology assessment: A milestone in international collaboration. *International Journal of Technology Assessment in Health Care*. 2020; 36(3):187-90.
- [2] Sorenson C, Drummond M, Kanavos P. Ensuring value for money in health care: the role of health technology assessment in the European Union. *WHO Regional Office Europe*; 2008.
- [3] Taylor RS, Iglesias CP. Assessing the clinical and cost-effectiveness of medical devices and drugs: are they that different?. *Value in Health*. 2009;12(4):404-6.
- [4] Fuchs S, Olberg B, Panteli D, Perleth M, Busse R. HTA of medical devices: Challenges and ideas for the future from a European perspective. *Health Policy*. 2017; 121(3):215-29.
- [5] Ciani O, Wilcher B, Blankart CR, Hatz M, Rupel VP, Erker RS, Varabyova Y, Taylor RS. Health technology assessment of medical devices: a survey of non-European union agencies. *International Journal of Technology Assessment in Health Care*. 2015; 31(3):154-65.
- [6] Oliveira MD, Mataloto I, Kanavos P. Multi-criteria decision analysis for health technology assessment: addressing methodological challenges to improve the state of the art. *The European Journal of Health Economics*. 2019; 20(6):891.
- [7] European Parliament and Council of the European Union. Regulation (EU) 2017/745 on medical devices. *Official Journal of the European Union*. 2017.
- [8] European Parliament and Council of the European Union. Regulation (EU) 2017/746 on in vitro diagnostic medical devices. *Official Journal of the European Union*. 2017.
- [9] European Parliament and Council of the European Union. Regulation (EU) 2021/2282 on health technology assessment. *Official Journal of the European Union*. 2021.
- [10] van Voorn GA, Vemer P, Hamerlijnck D, Ramos IC, Teunissen GJ, Al M, Feenstra TL. The Missing Stakeholder Group: why patients should be involved in health economic modelling. *Applied health economics and health policy*. 2016; 14(2):129-33.
- [11] Thokala P, Devlin N, Marsh K, Baltussen R, Boysen M, Kalo Z, Longrenn T, Mussen F, Peacock S, Watkins J, Ijzerman M. Multiple criteria decision analysis for health care decision making - An introduction: report 1 of the ISPOR MCDA Emerging Good Practices Task Force. *Value in Health*. 2016; 19(1):1-3.
- [12] Vieira AC, Oliveira MD, e Costa CA. Enhancing knowledge construction processes within multicriteria decision analysis: The Collaborative Value Modelling framework. *Omega*. 2020; 94:102047.
- [13] Ulrich W. Critical heuristics of social systems design. *European Journal of Operational Research*. 1987; 31(3):276-83.
- [14] Freitas L, Oliveira MD, Vieira AC. Guiding Stakeholder Involvement in Health Technology Assessment for Medical Devices: A novel approach for clarifying stakeholders' roles and contributions. *Health Policy and Technology*. 2025; 23:101075.
- [15] Freitas L, Vieira AC, Oliveira MD, Monteiro H, Bana e Costa CA. Which value aspects are relevant for the evaluation of medical devices? Exploring stakeholders' views through a Web-Delphi process. *BMC Health Services Research*. 2023; 23(1):593.
- [16] Bana e Costa CA, De Corte JM, Vansnick JC. MACBETH. *International Journal of Information Technology and Decision Making*. 2012; 11(2):359-387.

NEW INTEGER PROGRAMMING MODELS FOR THE MULTI-DEPOT VEHICLE ROUTING PROBLEM WITH INTER-DEPOT ROUTES



ANA HANSEMS

// Project Manager Trainee na SONAE MC
// MSc em Engenharia e Gestão Industrial pelo Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa e vencedora do Prémio Estúdio 2025 atribuído no I02025, Amaranite
anahansems@tecnico.ulisboa.pt

The Multi-Depot Vehicle Routing Problem with Inter-Depot Routes (MDVRPI) has emerged as a central challenge in contemporary Operations Research because modern supply chains no longer rely on a single, isolated distribution center. Instead, companies operate networks of interacting depots, warehouses, and cross-docking points that must coordinate vehicle movements while maintaining service levels and controlling transportation costs. Traditional routing problems such as the VRP or its multi-depot variant assume that each vehicle begins and ends its route at the same depot. This assumption simplifies modelling but fails to capture real operational practices in which vehicles may replenish at several depots within the same working period. Inter-depot reloading allows better resource sharing, shorter travel distances, and more balanced workloads, but it also introduces new layers of complexity.

Most existing attempts to address the MDVRPI have relied on heuristic or metaheuristic procedures, since exact formulations tend to grow very large and struggle to incorporate inter-depot transitions without increasing the dimensionality of the decision variables. Recent advances in compact formulations for the classical multi-depot VRP [1], however, opened a promising direction: by using graph structures, instead of three-index variables, it becomes possible to build exact models with

two-index variables, which are more computationally manageable. This work builds on that insight and proposes a set of four compact MILP models that reformulate the MDVRPI using the idea of depot replicas. Each physical depot is associated with multiple virtual copies, only one acting as the depot and the remaining as intermediate facilities. This enables the transformation of the MDVRPI into a multi-depot VRP, illustrated in Figure 2, where the physical copy acting as depot will signal the beginning and end of a complete so-called rotation, and the others will serve only for replenishment.

Within this framework, subtour elimination is handled through either Single Commodity Flow (SCF) constraints with two-index variables, or Miller-Tucker-Zemlin (MTZ) constraints, with one-index variables, both tracking the evolution of vehicle load. To ensure that all arcs within a rotation correspond to the same logical origin depot, the models introduce two alternative path-elimination constraints: NODE-based current variables that propagate the depot identity across visited nodes, and ARC-based variables that label every active arc with the corresponding depot index. Combining these two subtour strategies with the two path-elimination approaches yields four model variants: SCF+NODE, SCF+ARC, MTZ+NODE, and MTZ+ARC. These compact formulations use two-index variables while guaran-

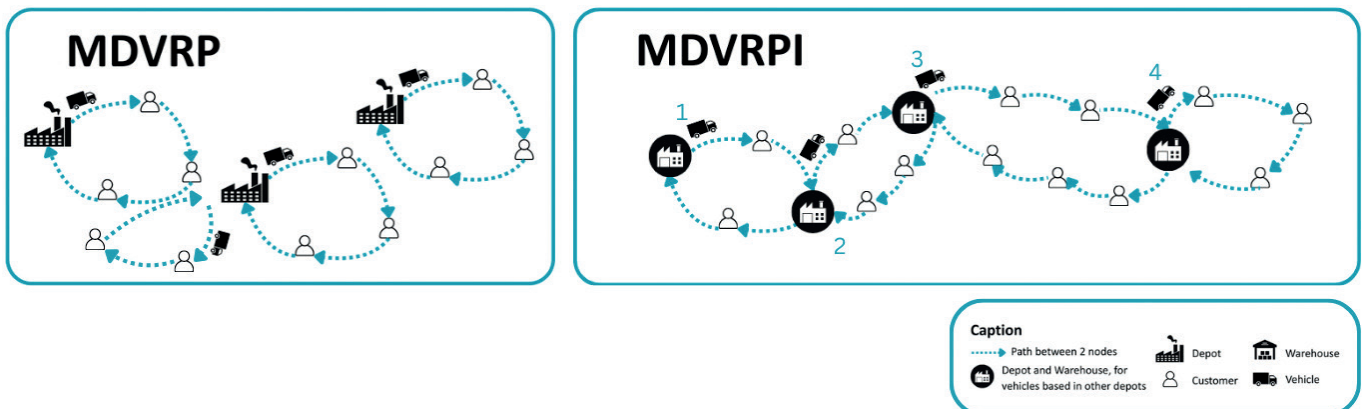


Figure 1: MDVRP and MDVRPI

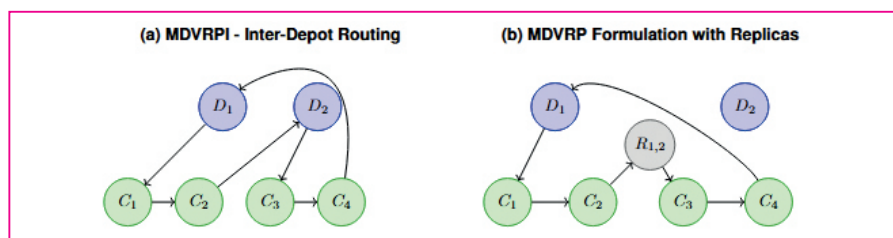


Figure 2: MDVRPI vs MDVRP with Replicas

Instance Set (22 instances)	Muter et al. (2014)		Ramos et al. (2020)		Lavigne et al. (2023)		This work (2025)	
	Optimal	BKS	Optimal	BKS	Optimal	BKS	Optimal	BKS
X-25-50-450	4	13	3	7			13	17
X-40-50-450	0	7	6	9			0	2
Original	0	0	0	9	0	5	1	10

Table 1: Comparison of the Results achieved in This Work with the Literature

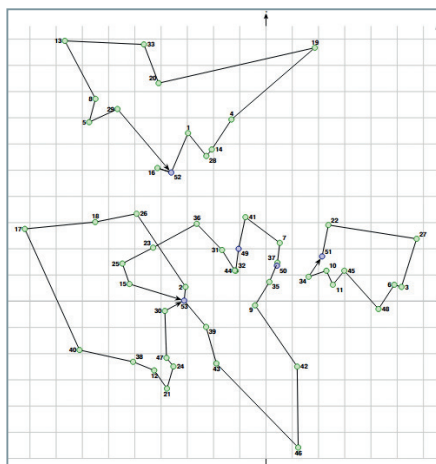


Figure 3: Solution Diagram for Instance a2-48-150-600

teering that each rotation respects load, time, and depot-consistency constraints.

A three-phase computational analysis was performed using widely adopted benchmark instances. First, all four variants were tested on the simplified X-25-50-450 set, where SCF+ARC and MTZ+NODE delivered superior performance. Next, those two models were evaluated on the more demanding X-40-50-450 instances, a stage in which SCF+ARC showed a clear advantage by achieving smaller optimality gaps. Finally, the best formulation was tested on the original MDVRPI instances [2]. Across all sets, the SCF+ARC model consistently produced high-quality solutions, demonstrated in Table 1, solving more instances to optimality and identifying several

new best-known solutions, in comparison to previous works [3,4,5]. The first proven optimal solution for one of the original benchmark cases, a2 is shown in Figure 3, which demonstrates that compact formulations can indeed tackle inter-depot routing in a scalable manner. Beyond numerical performance, the modelling contributions are conceptually important. Depot replicas offer a practical way to represent inter-depot movements without multiplying indices or requiring multi-layered graph structures. The current-tracking mechanism ensures route coherence even as vehicles traverse several depots, a feature that is essential for applications involving cross-docking, multi-hub distribution, or regional balancing of fleet capacity. These tools enable the MDVRPI to be expressed with a clarity normally associated with the classical MDVRP, while still capturing the richer behavior of multi-depot replenishment.

The study also highlights several directions for future research. The compact models presented here can serve as the foundation for new hybrid matheuristics, such as extending the work by Ramos et al. (2020) [4]. They can also be extended to incorporate stochastic demand, multi-period planning, or time-dependent travel times. From an applied perspective, the insights gained are particularly relevant for industries such as retail distribution, waste collection, pharmaceuticals, spare-parts logistics, and e-commerce fulfilment, where inter-depot coordination plays a critical role. By enabling more flexible rotation planning and more efficient use of fleet resources, the proposed formulations contribute to more sustainable and resilient logistics operations.

References

- [1] Bektaş, T., Gouveia, L., & Santos, D. (2020). Compact formulations for multi-depot routing problems: Theoretical and computational comparisons. *Computers and Operations Research*, 124. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2020.105084>
- [2] Crevier, B., Cordeau, J. F., & Laporte, G. (2007). The multi-depot vehicle routing problem with inter-depot routes. *European Journal of Operational Research*, 176(2), 756–773. <https://doi.org/10.1016/J.EJOR.2005.08.015>
- [3] Lavigne, C., Inghels, D., Dullaert, W., & Dewil, R. (2023). A memetic algorithm for solving rich waste collection problems. *European Journal of Operational Research*, 308(2), 581–604. <https://doi.org/10.1016/J.EJOR.2022.11.023>
- [4] Muter, I., Cordeau, J. F., & Laporte, G. (2014). A branch-and-price algorithm for the multidepot vehicle routing problem with interdepot routes. *Transportation Science*, 48(3), 425–441. <https://doi.org/10.1287/TRSC.2013.0489>
- [5] Ramos, T., Gomes, M., & Barbosa-Póvoa, A. (2020). A new matheuristic approach for the multi-depot vehicle routing problem with inter-depot routes. *OR Spectrum*, 42(1), 75–110. <https://doi.org/10.1007/s00291-019-00568-7>



IO2025

No passado mês de setembro teve lugar o IO2025, realizado em Amarante, sob o tema "A IO para um empreendedorismo sustentável". O congresso, organizado pela Associação Portuguesa de Investigação Operacional (APDIO), em parceria com o Politécnico do Porto e a Câmara Municipal de Amarante, reuniu investigadores, estudantes e profissionais da área da Investigação Operacional, contando com mais de 80 apresentações científicas distribuídas por várias sessões paralelas, bem como com a participação de estudantes na sessão EstudIO. As sessões plenárias contaram com as intervenções de Maria Paola Scaparra (Kent Business School), numa EURO Plenary Session dedicada à aplicação da IO a desafios globais nas áreas da saúde e clima, e de Fernando Belezas, diretor executivo do Instituto Empresarial do Tâmega, que abordou o papel da IO na seleção, desempenho e impacto de startups e incubadoras. O congresso promoveu também o reconhecimento da comunidade através do Prémio EstudIO, patrocinado pela LTPlabs, e do Prémio Isabel Themido, que distingue investigação científica de excelência desenvolvida por sócios da APDIO. O Prémio Isabel Themido distinguiu o artigo Iterated local search for the placement of wildland fire suppression resources (<https://doi.org/10.1016/j.ejor.2022.10.020>), da autoria de André Bergsten Mendes e Filipe Pereira Alvelos. O Prémio EstudIO foi atribuído a Ana Hansens, pelo seu trabalho na área de modelos de programação inteira aplicados a problemas de planeamento de rotas com múltiplos depósitos e rotas inter-depósitos. O IO2025 afirmou-se como um espaço privilegiado de partilha de conhecimento, momentos de convívio e descoberta da região, promoção do contacto entre a investigação e as suas aplicações, e valorização da Investigação Operacional e da APDIO enquanto motores de inovação sustentável.



OPTIMIZATION 2026

A conferência Optimization 2026 tem como objetivo reunir investigadores e profissionais de diversas áreas que partilham interesses comuns em Otimização. Este prestigiado evento, reconhecido como

um importante fórum de discussão e de troca de ideias, assinala a 11.ª edição de uma série de conferências internacionais sobre otimização, organizadas em Portugal sob os auspícios da APDIO. A conferência terá lugar no ISEG - Lisbon School of Economics and Management da Universidade de Lisboa, de 20 a 22 de julho de 2026. Contacto: opt2026@iseg.ulisboa.pt
Mais informações em <https://optimization2026.iseg.ulisboa.pt/>

EUROnews

Aqui apresentamos alguns dos eventos programados para o segundo semestre de 2026 com associação à [EURO](#). Para mais informações, consulte os eventos em curso em <https://www.euro-online.org/web/pages/460/calendar>

- **23-26.8.2026** 19th International Thematic Track/Workshop on Computational Optimization (CO25), Riga, Letónia
- **25-28.8.2026** Practice and Theory of Automated Timetabling (PATAT 2026), Nottingham, Reino Unido
- **31.8-2.9.2026** ICCL 2026: 17th International Conference on Computational Logistics, Al Akhawayn University, Ifrane, Marrocos
- **1-4.9.2026** International Conference on Operations Research 2026 (OR2026), Passau, Alemanha
- **2-4.9.2026** 4th International Conference on Applied Mathematics in Engineering (ICAME'26), Balikesir, Turquia
- **7-8.9.2026** AI4RAILS 2026 Workshop, Galzignano Terme and Venezia, Itália
- **8-10.9.2026** OR Society Annual Conference, Nottingham, Reino Unido
- **8-11.9.2026** RO 2026 PhD school on robust optimization, Porquerolles, França
- **16-18.9.2026** EngOpt 2026 - 7th International Conference on Engineering Optimization, Lisboa, Portugal
- **17-18.9.2026** 2nd IMA Congress: AI Unlocked: Innovation, Insight and Impact
- Hyatt Regency, Birmingham, Reino Unido
- **20.9-2.10.2026** ESWI on Data-Driven Healthcare under Uncertainty, Aachen, Alemanha
- **23-25.9.2026** KOI 2026 - 21st International Conference on Operational Research, Brela, Croácia
- **23-25.9.2026** 2026 Annual Meeting of the European Working Group on Retail Operations, Lisboa, Portugal
- **12-15.10.2026** Creative Mathematical Sciences Communication 2026, Pádua, Itália
- **14-16.10.2026** The 6th EUROYoung Workshop, Lugano, Suíça
- **15-16.10.2026** 10th EURO HOpe Conference, Tilburg, Holanda
- **20-23.10.2026** Computers & Industrial Engineering International Conference (CIE53), Abu Dhabi, Emirados Árabes Unidos
- **23-26.11.2026** Latin-Iberoamerican Conference on Operations Research (CLAIO), Bogotá, Colombia
- **6-9.12.2026** 2026 Winter Simulation Conference, Glasgow, Escócia



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
Miguel Vieira
miguel.vieira@ulusofona.pt
Telmo Pinto
telmo@dps.uminho.pt

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