

BOLETIM APDIO 47

2º Semestre de 2012

Editores:
Ana Luísa Custódio
Isabel Correia



Apdio

EDITORIAL

Na actual conjuntura económica a gestão eficiente de sistemas, com a consequente racionalização de recursos que se lhe encontra associada, assume-se como uma prioridade no nosso quotidiano. Procurando novamente dar destaque às diferentes áreas de intervenção consideradas como prioritárias pela actual Direcção da APDIO, este novo número do Boletim foca-se no papel que a Investigação Operacional (IO) pode desempenhar no Sector das Energias.

Assim, na secção Técnicas de IO, Carlos Henggeler Antunes descreve-nos alguns dos problemas e desafios deste sector, para os quais têm vindo a ser desenvolvidos modelos e aplicadas metodologias de resolução baseadas na IO. É com grande satisfação que retomamos a secção de entrevista, neste caso a Miguel Stillwell de Andrade que nos fala dos novos desafios que se colocam às empresas do sector energético e, em particular, da relevância assumida pela IO na empresa em que exerce funções. Sendo Portugal um exemplo mundial no recurso à energia eólica, Vladimiro Miranda, na secção IO em Acção, relata-nos alguma da experiência do INESC TEC na procura de melhores modelos de previsão para este sector.

A rubrica Artigo de Opinião é hoje da responsabilidade de Jorge Pinho de Sousa, que aborda o apoio à decisão no planeamento da produção e na gestão de operações em ambiente industrial.

Recentemente teve lugar o COA.pt2012 - The paths on Combinatorial Optimization Applications in Portugal, cuja organização foi apoiada pela APDIO. Na secção de Notícias, a Comissão Organizadora do evento faz-nos um pequeno resumo deste encontro.

Como sempre, o Boletim procura dar a conhecer os diferentes grupos de profissionais de IO que exercem esta área do conhecimento dentro e fora de Portugal. Na secção A IO em Portugal, Isabel Gomes apresenta-nos a linha de IO do Centro de Matemática e Aplicações da Universidade Nova de Lisboa. A nossa convidada da secção Portugueses em IO pelo Mundo é Helena Ramalinho Lourenço, professora associada da Universidade Pompeu Fabra, em Barcelona, que nos dá uma visão pessoal sobre o seu percurso académico e profissional.

O Boletim termina com o já habitual Blog dos Sócios, onde Pedro Oliveira e Domingos Moreira Cardoso nos relembram o passado da APDIO enquanto associação, não esquecendo de apontar linhas estratégicas futuras.

Ana Luísa Custódio
Isabel Correia

02

NOTÍCIAS

COA.pt2012 - The paths on Combinatorial Optimization Applications in Portugal

Agostinho Agra, Adelaide Cerveira,
Ricardo Magalhães, Isabel Martins

03

ARTIGO DE OPINIÃO

Decision support in operations scheduling
- an interactive multi-criteria approach

Jorge Pinho de Sousa

05

TÉCNICAS DE IO

Modelos e métodos de IO no sector
energético

Carlos Henggeler Antunes

07

ENTREVISTA

Miguel Stillwell de Andrade

09

IO EM ACÇÃO

Produção de melhores modelos de
previsão eólica

Vladimiro Miranda

12

A IO EM PORTUGAL

A Linha de IO do Centro de Matemática e
Aplicações (CMA) da Universidade Nova
de Lisboa

Isabel Gomes

13

PORTUGUESES EM IO PELO MUNDO

Helena Ramalinho Lourenço

15

BLOG DOS SÓCIOS

APDIO - Associação Portuguesa de
Investigação Operacional: Breve resenha
histórica

Pedro Oliveira, Domingos Moreira Cardoso





COA.pt2012 THE PATHS ON COMBINATORIAL OPTIMIZATION APPLICATIONS IN PORTUGAL

Agostinho Agra, Universidade de Aveiro
Adelaide Cerveira, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro
Ricardo Magalhães, Faculdade de Ciências de Lisboa
Isabel Martins, Instituto Superior de Agronomia

O encontro “The paths on Combinatorial Optimization Applications in Portugal”, COA.pt2012, realizou-se em Sabrosa, de 5 a 7 de setembro, no Auditório Municipal, e contou com a participação de quase 50 pessoas. Este encontro foi organizado pela APDIO – Associação Portuguesa de Investigação Operacional, pelo CIDMA - Centro de Investigação e Desenvolvimento em Matemática e Aplicações e pelo CIO – Centro de Investigação Operacional, e teve como objetivo principal divulgar trabalhos em aplicações práticas da Otimização Combinatória que têm sido realizados essencialmente pela comunidade científica que vive em Portugal.

O COA.pt 2012 teve duas palestras tutoriais dadas pelos professores Laurence Wolsey, da Universidade Católica de Louvain, Bélgica, e Luís Gouveia, da Universidade de Lisboa. Contou com duas sessões temáticas convidadas. Uma em Cuidados de Saúde, cujos oradores foram Margarida Vaz Pato (Universidade Técnica de Lisboa), Teresa Melo, (Saarland University of Applied Sciences), Ana Viana (Instituto Superior de Engenharia do Porto) e Pedro Oliveira (Universidade do Porto) e outra em Recursos Naturais, tendo como oradores Miguel Constantino (Universidade de Lisboa), Liliana Ferreira (Instituto Politécnico de Leiria), Jorge Orestes Cerdeira (Universidade Técnica de Lisboa) e Manuel Campagnolo (Universidade Técnica de Lisboa). De modo a não ocorrerem sessões paralelas, houve um número limitado de comunicações orais (quinze). Foram também apresentados seis posters. O

encontro reuniu não só apresentações sobre aplicações mas também algumas comunicações de índole mais teórica, de forma a integrar todos os investigadores na área da Otimização Combinatória.

Para além da natureza científica, o COA.pt2012 teve ainda uma vertente cultural, dando a conhecer um pouco mais uma região do país menos habituada a acolher este tipo de encontros, o Douro. A vila de Sabrosa, sede de um concelho com grande parte da área situada na Região Demarcada do Douro e parte dessa área incluída na região do Alto Douro Vinhateiro, património mundial, foi o local escolhido para o encontro. Os apoios da Câmara Municipal de Sabrosa e de outras entidades locais foram fundamentais para a realização do evento.

A elevada qualidade científica do COA.pt 2012 e o excelente ambiente entre os seus participantes fazem com que os organizadores desejem que este encontro tenha sido o primeiro de uma série de encontros na área da Otimização Combinatória, a realizar em regiões do país menos conhecidas mas que merecem ser visitadas.

DECISION SUPPORT IN OPERATIONS SCHEDULING

AN INTERACTIVE MULTI-CRITERIA APPROACH

Jorge Pinho de Sousa,
INESC Porto / Faculdade de Engenharia da
Universidade do Porto

1. Context

In most industrial environments operations management and production planning involve decision-making at different levels, with multiple time horizons and different information detail.

In general, “demand” processing, whether it is the result of firm orders or of a more or less elaborate forecasting exercise, will originate a set of production orders, according to more general policies, involving issues such as lot sizing, i.e., the definition of lots or batches for production.

Associated to the definition of what will be produced, and sometimes previously to that stage, production capacities are reserved in an aggregated (and sometimes rough) way, particularly in what concerns internal resources (work-centers) or subcontracted external resources.

This planning process and the resource allocation (which may take different forms according to the sector, the context and the company organization) have two components: aggregate resource allocation and “order promising” (through a negotiation with clients), and the supply process (purchases) to guarantee that the raw materials and components are available on time.

The established plan will then affect the “operations”, constraining the “scheduling” process, as well as the specific resources which will be used in the different “production orders”. In this scheduling process it is necessary to take into account the constraints imposed (at a highest level) by the planning process, to guarantee for instance that the components that have been ordered will be available when production starts. Furthermore, the “scheduling” process requires a large amount of additional information on the products’ structure (including the bill of materials), on the operation routes, as well as on the machines and human operators that can be used.

2. Integration

The system briefly described here tries to perform this “scheduling” function, based on the information that should have been processed and provided by a higher level computer system, such as an ERP (i.e., the company’s information processing system). As mentioned above, this information includes (relatively stable) data on the products and operations to be performed, available resources and skills, as well as

data on firm or estimated demand in the form of a “master production schedule.”

Therefore, a “scheduling” system needs to be integrated with the planning system (usually provided by the ERP). As such, for the results to be consistent and capable of being implemented, it is necessary to guarantee this integration.

3. The approach

Scheduling the activities or operations to be performed in a production system is a task with a great impact on the system’s performance, and possibly involving significant costs or benefits. Even though this is economically important, the solutions available on the market are generally very rigid, which makes them hard to use.

The term “scheduling” refers here to the concrete and precise elaboration of an “action plan” (for a few weeks, for instance), outlining what will be done, when it will be done and with what resources. A poor scheduling can easily lead to consecutive delays in the production order processing or cause the machines not to be used for long periods of time. This means that productivity will decrease and that more delays will occur in delivering orders.

On one hand, this problem is relatively “structured” and defined according to the product routes and to the features and capacities of the resources. On the other hand, the problem presents enormous difficulties associated to the existence of multiple objectives and constraints, which are often qualitative and/or subjective.

In the approach that we propose for this problem we consider that the input data (provided by another computer system) characterize each one of the production orders (PO) to be performed, providing the sequence of operations for these orders. The resources that will be performing these operations (machines and operators) will then be identified as well as the time required to perform each operation.

Even in simpler versions, the “operations scheduling” problem is computational very hard. This is due to its highly combinatorial nature, that is, “locating” the operations in time and in the machines can be performed in an exponentially increasing number of ways, thus creating a large “puzzle” for which there is no optimal solution within an acceptable computational effort and time.

Furthermore, when evaluating a solution (plan), it is necessary to consider multiple criteria. This means that there cannot be an “optimal” solution but several solutions (even if they are hard to compute) that correspond to different “trade-offs” between the different criteria: for instance, a solution can be more suitable than the other in terms of decreasing delays, and yet perform worse in terms of machine use.

For the same problem, it should be possible for the planner to express the importance associated to the different criteria, and expect that the system proposes solutions according to priorities.

Furthermore, it is found that practical problems also have additional and unexpected “complications” which cannot be handled by the computer system. This situation is unavoidable as the computer operates on a “model” of reality, which is a simplification of that reality and obviously it cannot cover all its aspects.

This understanding can determine that the implementation of a solution (“plan”) proposed by the system can be very hard or even impossible. Therefore, the planner must introduce in that solution, and with the help of the system, the changes deemed necessary or useful.

A system with such features is a “Decision Support System”. This expression strengthens the idea that the system should “support” the decision-making process without ever replacing the planner who should always have the last word in the plan to be adopted.

4. A multi-criteria and interactive solution

According to the complexity and features of the problem, the optimization scheduler designed and developed by INESC Porto adopts a new problem-solving approach based on multi-criteria heuristic techniques. Generally speaking, an “algorithm” of this nature starts by creating an “acceptable” solution, which can afterwards be improved, for instance by swapping the order of the operations. These swaps are performed systematically so that the solutions obtained are hopefully better than the previous ones.

It is important to highlight that the “best solutions”, in a context where multiple criteria are used, may mean that optimization is achieved according to one of the criteria, and not necessarily according to all the criteria. Therefore, planners should be involved in the process and they should choose one of the solutions generated by the system (which correspond to different trade-offs between objectives).

In the approach that was developed, the following criteria were considered: minimizing set-up times; minimizing waiting times; maximizing machine loads; minimizing delays; minimizing deviations to the due dates; maximizing customer satisfaction.

While using the “scheduler”, planners are asked to assign a level of importance (or “weight”) to each of the criteria, thus showing their preferences. Periodically, while the application is running, the system shows the available solutions allowing the planner to reconsider the weights.

It is important to highlight that the decision process is strongly supported by the way in which the solutions are presented. Each solution is shown in a Gantt chart (see Figure 1) which, using the values of the criteria, allows the planner to assess, implicitly and according to multiple perspectives, the quality of the solution under analysis.

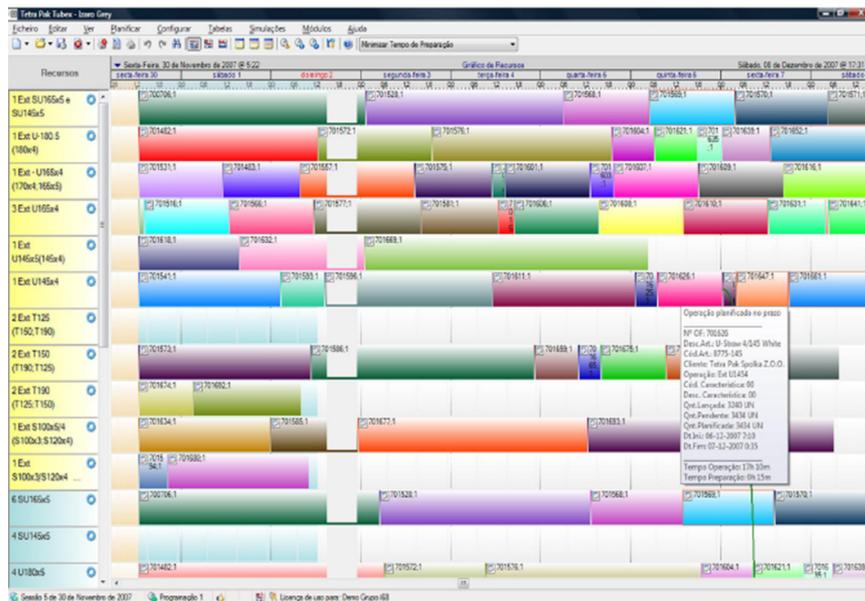


Figure 1: A Gantt chart representing the schedule of operations.

A Gantt chart represents the operations “schedule” in a “matrix” (of all production orders) on a time axis where each row is associated to a resource (machine, work-center), and each operation is represented by a bar whose length is proportional to its duration.

These powerful graphical interfaces are key to the planning process. Because the algorithms that support these interfaces are very efficient and because the planner’s role is crucial, this computer application (the “scheduler”) is a true Decision Support System.

5. Operating the system

Planners start a work session by selecting the criterion that is most important, for instance the minimization of set-up times and, according to that choice, the system uses a specific rule to sort the POs. After the POs are sorted, they are “scheduled”, i.e., they are assigned a time to start, taking into consideration all the constraints associated to the resources (such as availability, capacity changes, type of resources) and precedence (operation ranges, “linked” production orders, and availability of the materials). Based on this information, a first solution (or plan) is produced. The quality of this solution is assessed using a set of indicators (which directly or indirectly reflect the criteria used) and the plan is visualized in a Gantt chart.

If the planners have the time, they can then optimize the solution based on a systematic swap process for POs or operations (using heuristic and metaheuristic techniques). With this optimization pro-

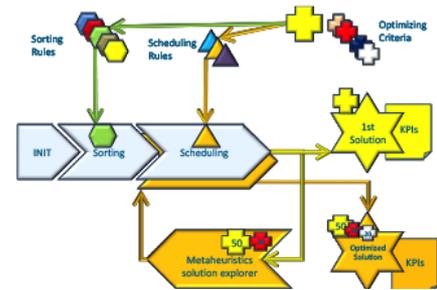


Figure 2: Flowchart representing the development of satisfactory and realistic scheduling solutions.

6. Results

This scheduler is currently installed in more than 30 companies in Spain and in Portugal. The sectors with the highest number of licenses are the plastics and packaging sectors, and the mechanical engineering sector. Furthermore, partnerships have been promoted with consultancy companies that are currently developing certified integration interfaces for the ERPs of world-renowned manufacturers. Several “software houses” have also adopted the scheduling solution, which they have combined with their ERP solutions for industry. As part of these partnerships, the first licenses have already been sold and installed.

This scheduling solution is a decision support tool that values the activity of the planner and allows companies, among other aspects, to improve delivery times and to achieve a greater efficiency in the use of their production resources, minimizing set-up times, for instance.

The advantage of this system comparatively to the ones available on the market is the fact that it makes it possible to obtain scheduling solutions representing good trade-offs between multiple objectives that can sometimes be subjective and conflicting. The quality of these solutions can be measured and compared using a set of quantitative indicators.

cess, the planners try to find solutions that best represent the “trade-offs” between the objectives that have been identified as the most important. A schematic representation of this process can be found in Figure 2.

Using the graphical interface and a sequential procedure (sorting / scheduling / multi-criteria optimization), the system constitutes a flexible and interactive tool capable of effectively supporting the development of satisfactory and realistic scheduling solutions.

The partnership between a business group that develops, commercializes and implements computer applications for industrial management with INESC Porto’s Manufacturing Systems Engineering Unit (UESP) has made it possible to combine the research activity with the knowledge of the market and, as a result, it was possible to identify, design and develop an innovative product. Even though competition in this area is very high, with multiple solutions available on the international market, this system is quite successful largely because it clearly tries to meet the real needs of industrial companies through a sound Operational Research approach.

MODELOS E MÉTODOS DE IO NO SECTOR ENERGÉTICO

Carlos Henggeler Antunes,
DEEC – FCTUC / INESC Coimbra

Em Setembro de 1957 a revista *The Economist* publicou um artigo sobre a primeira *International Conference on Operational Research*, que tinha sido realizada em Oxford no início desse mês juntando mais de duas centenas de participantes de vinte países, enfatizando que a maioria das comunicações (britânicas) apresentadas dizia respeito a estudos de casos práticos de aplicação na indústria (aliás, evidenciando o contraste com as comunicações focadas em técnicas, apresentadas pelos americanos). O texto do artigo da *The Economist* era ilustrado com o problema da *Central Electricity Authority*, que consistia em calcular como - de que minas para que centrais electroprodutoras, em que meios de transporte e através de que vias de comunicação - deveriam ser abastecidas as centrais com o carvão de que necessitavam, ao mínimo custo. Era mencionado que um modelo de programação linear tinha proporcionado poupanças de 300 mil libras por ano, e a *The Economist* concluía que a administração da *Central Electricity Authority* estava muito satisfeita com os resultados, de tal forma que encarava alargar esse tipo de abordagem para modelos de planeamento à escala nacional.

A aplicação de modelos e métodos de Investigação Operacional (IO) revelou, desde os seus primórdios, poder dar uma efectiva contribuição para a resolução da vasta gama de problemas, desde os de índole mais operacional, de gestão de operações de curto prazo, aos de natureza estratégica, de planeamento de actividades com horizonte temporal alargado. De facto, são muitos os modelos e abordagens metodológicas desenvolvidos motivados por problemas concretos numa ampla gama de actividades genericamente englobadas pelo que se designa por sector energético, desde a indústria petrolífera, à operação de refinarias, à produção, transporte, distribuição e consumo de energia eléctrica. Esses desenvolvimentos foram depois muitas vezes replicados ou adaptados noutros domínios de aplicação.

As alterações em curso no sector energético, em particular no sector eléctrico com o desmembramento das actividades antes verticalmente integradas, as tendências para a liberalização dos mercados energéticos, os problemas ambientais associados às diversas actividades desde a extração ao uso final, as preocupações socioeconómicas num contexto de desenvolvimento sustentável, criam continuamente novos desafios, e simultaneamente novas oportunidades, para a aplicação criativa de modelos e métodos de IO.

O sector energético é caracterizado por uma diversidade de problemas com características distintas - técnicos e operacionais, de concepção de políticas, planeamento em diversas escalas temporais, gestão integrada de sistemas complexos interligados, modelação de mercados, etc. - e por múltiplos actores com interesses muitas vezes não coincidentes - empresas nos diferentes níveis da cadeia de valor, clientes, operadores independentes de sistema e de mercado, poder político, órgãos reguladores, etc. A IO dispõe de uma vasta gama de utensílios - técnicas de estruturação de problemas, construção de modelos matemáticos ou outro tipo de formalismos de representação do problema, algoritmos, metodologias de apoio à tomada de decisão - capaz de auxiliar os decisores na obtenção de soluções adequadas e efectivas para múltiplos tipos de problemas.

Entre os problemas que surgem frequentemente na literatura científica da área, podem mencionar-se, entre muitos outros, o planeamento do sistema eléctrico (expansão da capacidade de produção, reforço ou expansão das redes de transporte e distribuição eventualmente tendo em conta questões de natureza espacial, localização de equipamentos), a operação do sistema (afecção de unidades de produção, despacho, reconfiguração de redes, integração de fontes de origem renovável, controlo remoto de cargas), os impactes ambientais associados à utilização de combustíveis fósseis (adoptando uma perspectiva de análise de ciclo de vida), a regulação e a liberalização de mercados (formação de tarifas de energia e de potência, remuneração de serviços de rede, coordenação entre políticas energéticas e ambientais, salvaguarda da competição e mitigação do poder de mercado), as políticas energéticas (garantia de segurança do abastecimento, transformação de mercado e eficiência energética, gestão da procura, estudo das interacções energia - ambiente - economia), o planeamento regional e local (em particular, tendo em conta a inter-relação com sistemas de transportes) e aspectos técnicos em redes eléctricas (qualidade de serviço, compensação de energia reactiva, redução das perdas de transporte).

Numa perspectiva metodológica, a "caixa de ferramentas" da IO providencia soluções para modelos desta vasta gama de problemas através da programação matemática, incluindo a consideração de múltiplas funções objectivo, análise de decisões e análise de risco, meta-heurísticas

sobretudo para problemas fortemente não lineares e/ou de natureza combinatoria, simulação, teoria dos jogos, *data envelopment analysis* e outras abordagens para avaliação da eficiência, etc.

O planeamento da expansão da capacidade de produção de energia eléctrica é uma das mais antigas aplicações dos modelos e métodos de IO no sector energético, cujo objectivo é, em geral, decidir que novas centrais produtoras instalar, ou qual o reforço de capacidade a efectuar nas unidades existentes, de modo a otimizar o custo global (de investimento, de operação e de manutenção) para satisfazer o crescimento previsto para a procura num dado horizonte temporal. Muitas vezes estes modelos consideram múltiplas funções objectivo, incluindo também explicitamente, para além dos aspectos económicos, a fiabilidade do sistema ou os impactes ambientais como eixos de avaliação do mérito das potenciais soluções. Estes modelos e os métodos para obter soluções devem ter em conta a incerteza associada quer aos dados de entrada (por exemplo, relativa à procura estimada que no longo prazo é afectada por factores económicos), quer à estrutura do próprio modelo (por exemplo, resultante de aproximações de relações entre as entidades do modelo). A incerteza é tida em conta, em geral, através de abordagens estocásticas, *fuzzy*, de programação robusta, de programação intervalar, ou de análise de sensibilidade.

Outra aplicação muito tratada na literatura da área é o problema de afectação de unidades de produção (*unit commitment*) de energia eléctrica, que genericamente consiste em minimizar o custo operacional global satisfazendo as restrições de modo a assegurar um determinado nível de segurança de abastecimento. A procura de electricidade apresenta um padrão diário, com possíveis variações muito significativas entre horas de vazio e de ponta, para além de semanal, com menor consumo aos fins de semana. O operador de sistema deve então determinar qual a configuração óptima das unidades de produção que devem estar em funcionamento/reserva, de modo a satisfazer a procura estimada, tendo em conta a respectiva variabilidade, minimizando o custo global. Este problema é de extrema complexidade pois envolve, em geral, um parque electroprodutor com características operacionais e de custos muito distintas (unidades termoeléctricas e hidroeléctricas, bem como unidades de produção geograficamente dispersas com

características de produção intermitente, como é o caso dos geradores eólicos), podendo ser considerado em horizontes temporais também diferentes.

Dada a dimensão e complexidade destes sistemas, poupanças percentualmente reduzidas podem constituir um volume monetário muito significativo. Enquanto que em problemas de planeamento é, em geral, possível desenvolver modelos mais completos e usar algoritmos exactos que exigem um considerável esforço computacional (o que não é crítico dada a natureza de longo prazo das decisões a tomar), problemas operacionais de curto prazo podem exigir modelos mais simplificados e/ou abordagens de natureza heurística, ou meta-heurística, que forneçam soluções de boa qualidade usáveis em tempo (quase) real.

A programação matemática tem sido usada em vários países para o desenho e a gestão de mercados de electricidade competitivos, i.e., capazes de providenciar situações de equilíbrio face a diversos requisitos por parte dos participantes, permitindo um processo de decisão sistemático e transparente. Estes mercados devem proporcionar informação aos participantes de forma não discriminatória, de modo a que possam ser tomadas as decisões óptimas de venda, aquisição e provisão de serviços de rede que assegurem a fiabilidade e a estabilidade do sistema.

As técnicas de IO têm também sido muito úteis para a análise de questões de avaliação da eficiência operacional, em particular de empresas de distribuição de energia eléctrica, usando *data envelopment analysis*.

Estes estudos são por vezes usados pelas entidades reguladoras para determinar as implicações de ganhos de eficiência nas tarifas e na remuneração das empresas.

A comunidade portuguesa de IO, através de várias unidades de I&D, tem vindo a realizar um vasto trabalho de aplicação dos modelos e técnicas de IO no sector energético, em particular no sector eléctrico, com visibilidade em revistas científicas, projectos de I&D nacionais e internacionais, e consultoria especializada com as principais empresas do sector. Em Setembro de 2006, foi organizada na Universidade de Coimbra a *19th Mini-EURO Conference on Operations Research Models and Methods in the Energy Sector* [1-3], que contou com o patrocínio científico da APDIO.

Referências

- [1] Antunes, C. H., Gomes, A., Guest editorial - Operational research models and methods in the energy sector, *International Journal of Energy Sector Management*, 2, 314-317, 2008.
- [2] Antunes, C. H., Gomes, A., Operational research models and methods in the energy sector - Editorial, *European Journal of Operational Research*, 197, 997-998, 2009.
- [3] Antunes, C. H., Gomes, A., Operational research models and methods in the energy sector - Introduction to the special issue, *Energy Policy*, 36, 2293-2295, 2008.

Miguel Stilwell de Andrade

“UMA EMPRESA COMPETITIVA NO SECTOR DE ENERGIA REQUER NECESSARIAMENTE EQUIPAS MULTIDISCIPLINARES, INCLUINDO MATEMÁTICOS E PROFISSIONAIS LIGADOS À IO”

Membro do Conselho de Administração da EDP / CEO da HC Energia / CEO da EDP Comercial



Licenciou-se em Engenharia Mecânica pela Universidade de Strathclyde (Glasgow, Escócia) e obteve posteriormente um MBA no MIT Sloan (Boston, E.U.A.). Que mais-valia lhe trouxe uma formação de base em Engenharia, quando o foco da sua actividade se prende com a tomada de decisão estratégica e a gestão?

Acredito que a formação base em Engenharia é sempre uma mais-valia pois desenvolve o pensamento analítico, a capacidade de resolver problemas e uma sensibilidade para o negócio e indústria. Esta formação em engenharia e a posterior formação em gestão no MBA, juntamente com a experiência profissional na área financeira, tem sido extremamente útil para a minha actividade como gestor pois permite ver os temas de várias perspectivas complementares e decidir com base nessa análise mais completa.

Considera que o facto de os seus estudos avançados terem sido feitos fora de Portugal foi determinante no seu percurso profissional?

Não tenho dúvida que foi determinante no meu percurso - não por um tema académico, pois penso que Portugal tem excelentes universidades de engenharia - mas pela experiência de vida que foi viver e estudar em países com culturas muito diferentes. Entre os 18 e os 26 vivi na Escócia, Itália (em Erasmus), Inglaterra e Estados Unidos para além de ter tido projectos e trabalhos em vários outros países incluindo Brasil e Japão. Ter de se desvencilhar a partir dos 18 anos é

uma excelente forma de ganhar experiência. Dadas as características da minha actual actividade profissional, é fundamental conseguir trabalhar de forma eficaz e produtiva com empresas e pessoas de vários países e essa experiência inicial foi importante para potenciar estas qualidades.

De entre um total de 260 projectos participantes, o projecto InovGrid foi o escolhido pela Comissão Europeia e pela Eurelectric como um caso de estudo sobre redes de distribuição inteligentes na Europa, colocando a EDP Distribuição numa posição de grande destaque a nível mundial. Como nasceu este projecto? Quais os benefícios mais relevantes para a EDP e para os consumidores inseridos neste tipo de rede?

O projecto nasceu de uma necessidade de modernizar a rede de distribuição eléctrica, tornando-a mais “inteligente”. Os benefícios são muitos e centram-se nomeadamente em torno de eficiência operacional, melhoria da qualidade de serviço da rede de distribuição e um potencial de eficiência energética para os consumidores. Por um lado as redes inteligentes permitem uma eficiência operacional maior porque as leituras e outras intervenções passam a poder ser feitas de forma remota, evitando a deslocação de equipas com consequentes custos para a empresa e incómodo para o cliente pois deixa de ser necessário estar em casa para a intervenção. Por outro lado, confere maior visibilidade a problemas na rede de

distribuição e permite actuar de forma mais rápida e em muitos casos automática. Isto reduz o tempo de avarias e melhora a qualidade de serviço. Por fim, ao permitir que o cliente tenha disponível muito mais informação sobre os seus consumos, torna-se possível actuar de forma mais eficaz sobre esses consumos resultando em poupanças.

No nosso país, a cooperação entre os meios académicos e empresariais é há muito considerada deficitária, embora seja unânime a convicção de que um aumento na transferência de conhecimento entre os dois sectores seria uma mais-valia para ambas as partes. Évora, onde se encontra estabelecida uma das universidades portuguesas, foi escolhida como cidade pioneira para o lançamento do InovGrid. Considera que este projecto é uma possibilidade de colaboração entre a academia e o sector empresarial energético? De que formas poderia ser intensificada esta colaboração?

Temos vindo a colaborar desde o início do projecto com várias universidades portuguesas, incluindo o INESC Porto, a Universidade Nova de Lisboa e a própria Universidade de Évora. É claramente uma boa oportunidade de colaboração entre a academia e o sector empresarial energético e temos tido vários trabalhos interessantes feitos com base neste projecto, quer de engenharia quer na área de estatística e comportamento do consumidor. É sempre possível

fazer mais mas isso também depende da vontade das próprias universidades e dos estudantes. Para além deste projecto específico, a EDP tem uma estreita cooperação com as universidades e está sempre disponível para estudar novos projectos em conjunto com a academia.

Na actual conjuntura económica, com o aumento da taxa de IVA sobre os consumos privados e a liberalização do mercado energético, são grandes os desafios que se colocam às empresas responsáveis pela produção e distribuição de energia. A racionalização de custos, a melhoria da qualidade do serviço prestado, a minimização dos impactos ambientais são certamente algumas das variáveis consideradas pela EDP nas soluções que implementa. Qual o papel que a Investigação Operacional (IO) tem desempenhado dentro do grupo no apoio à tomada de decisões?

A Investigação Operacional é uma ferramenta importante e utilizada por varias áreas dentro da EDP incluindo, por exemplo, o planeamento energético, previsão de mercados e despacho de centrais, entre outros. Ao longo dos últimos anos, e à medida que o

sector tem aumentado em sofisticação e complexidade, a IO tem vindo a ser desenvolvida e incorporada nos processos de decisão a todos os níveis. É um factor importante nas decisões finais mas não pode ser o único, sob pena de se ganhar aversão ao risco no caso de não existir uma solução perfeita ou a informação não ser completa.

Sendo o sector energético de importância estratégica para qualquer país, na sua opinião quais serão os grandes desafios que este sector irá enfrentar num futuro mais próximo?

A nível mundial, os grandes desafios do sector são o aumento de consumo de energia, fruto de aumento demográfico e desenvolvimento económico, o risco de aquecimento global e o facto de existirem recursos escassos que leva a que seja necessário uma maior racionalização desses recursos. É necessário energia que seja abundante, limpa e acessível a todos. Para isso, é preciso que haja um maior enfoque na eficiência energética, na electrificação do consumo, na descarbonização da produção de energia e no aumento da inteligência das redes eléctricas. Adicionalmente, em Portugal nestes próximos anos haverá um grande

desafio de liberalizar o mercado da comercialização, levando à promoção de mais e melhores ofertas de energia e serviços para os clientes, bem como um ajuste dos preços aos custos reais da energia de forma a mitigar o défice de tarifa.

Considera que a existência de Matemáticos nos quadros de profissionais da EDP e mais especificamente de profissionais ligados à Investigação Operacional pode tornar-se numa vantagem competitiva face a estes novos desafios?

Uma empresa competitiva no sector de energia requer necessariamente equipas multidisciplinares, incluindo matemáticos e profissionais ligados à IO, que consigam analisar os problemas nas suas diferentes perspectivas e pensar em soluções inovadoras para os clientes ou para fazer face aos desafios de mercado. Num mundo cada vez mais global e competitivo, esta diferenciação é determinante para que as empresas possam crescer e ter sucesso.

PRODUÇÃO DE MELHORES MODELOS DE PREVISÃO EÓLICA

Vladimiro Miranda,
INESC TEC, Laboratório Associado / Faculdade de
Engenharia da Universidade do Porto

A previsão de potência de curto prazo é um instrumento indispensável à operação de redes elétricas com elevada penetração de energia eólica. Ela serve dois tipos principais de atores: os operadores do sistema (vulgo TSO por *transmission system operators* ou ISO por *independent system operators*) e os operadores de parques eólicos. Em Portugal, o TSO é a REN e como operadores de parques existem variadas empresas que têm usufruído de um sistema de tarifa garantida. Em Espanha, o operador é a REE e a maior parte dos parques eólicos concorre no mercado diário oferecendo potência – e, diga-se, o esquema previsto para Portugal vai no mesmo sentido.

Portugal é um caso exemplar no mundo: atinge a faixa dos quase 20% de penetração na produção de energia – ou seja, um quinto da energia elétrica gerada no nosso país tem origem eólica. Melhor que isto, só a Dinamarca, que fica pouco acima, e perto de nós só a Espanha. Em 2011, a energia eólica gerada foi de cerca de 9,0 TWh – imagine-se a economia em combustíveis fósseis importados e as emissões de carbono evitadas!

O dia 13 de Novembro de 2012 foi especial: 70% do abastecimento de energia elétrica ao país foi de origem eólica. De madrugada, a potência fornecida pelos parques atingiu 93% da potência que estava sendo consumida, ou seja, o país viveu praticamente do vento. E, desmentindo vozes agoirentas, o país não colapsou!

A engenharia portuguesa contribuiu de variadas formas para este verdadeiro êxito tecnológico. A atuação teve duas vertentes: investimentos cirúrgicos para adequar o sistema a uma carteira de geração incluindo eólica e novas ferramentas de planeamento e operação do sistema elétrico. De entre estas ferramentas, avulta a necessidade de construção de cada vez mais aperfeiçoados sistemas de previsão.

Para os operadores de parques, a previsão de curto prazo (que vai até 3 dias) é essencial para poderem transitar para um jogo de mercado onde oferecem potência e devem minimizar os desvios entre o que irá acontecer e o oferecido, pois estes acarretam penalidades por incumprimento, por excesso ou por defeito. Para um TSO, a previsão é essencial às decisões de pré-despacho de geração (e de despacho).

O pré-despacho consiste no processo de decisão que determina quais os geradores que devem estar

em serviço em cada hora de um dado horizonte de planeamento da operação. Em Portugal, como na Espanha, o parque de geração inclui unidades térmicas cuja reação às variações bruscas de potência é lenta ou tem custo elevado, sob a forma de redução de tempo de vida e aumento de manutenção. Esta variação rápida de potência é conhecida como *ramping* e é evitada a todo o custo pelos operadores. Além disso, decisões de ligar e desligar geradores implicam custos fixos importantes.

Os problemas de pré-despacho de geração com unidades térmicas (carvão, fuel, nucleares, gás) são clássicos e modelados como problemas de programação inteira-mista, sendo a função objetivo uma minimização em regra de custos não lineares – de produção, de emissões, de desvios em relação a um fecho de mercado, conforme os contextos. Quando juntamos produção hídrica, a complexidade aumenta porque passa a existir armazenamento (água), dependência temporal e os problemas assumem caráter dinâmico. A presença da possibilidade de bombagem só agrava a complexidade.

Compreende-se que a elevada penetração de eólica, com uma amplitude de incerteza muito superior aos outros fatores em jogo, pode introduzir dificuldades muito sérias à preparação do pré-despacho. Um desvio para menos relativamente à previsão pode implicar a necessidade de o TSO colocar em serviço de emergência unidades que não tinha previsto ou comprar potência de emergência a produtores disponíveis, a preços sempre agravados. Um desvio em excesso obriga o TSO a provocar *ramping down* de geradores ou a pagar desvios a menos de produção a produtores a quem havia contratado maior potência.

Por todas estas razões, que não esgotam o caso, a indústria ofereceu muitas oportunidades para o desenvolvimento de modelos de previsão de potência eólica a curto prazo e afirmaram-se diversas propostas concorrentes no mercado. De momento, existem mais de 25 empresas na Europa vendendo previsões e quase uma dezena nos EUA. Mas as exigências de precisão nas previsões não acalmaram.

O INESC TEC foi também desafiado por variadas solicitações neste campo e deu contribuições em variados aspetos. Um dos trabalhos mais gratificantes decorreu por solicitação do Argonne National Laboratory (ANL)

do DoE (Department of Energy) do Governo dos Estados Unidos da América, num projeto que ficou designado ARGUS. Tratava-se de tentar produzir uma aproximação inovadora para a previsão de curto prazo que procurasse minimizar erros de previsão. Para teste e validação, o ANL obteve a cooperação do Midwest ISO (operador de uma rede de transmissão abrangendo 8 estados dos EUA e ainda uma província do Canadá) e da então designada Horizon Wind Energy, hoje EDP Renewables North America.

O desafio em mãos envolveu, em primeiro lugar, uma reflexão sobre o próprio problema proposto. A abordagem clássica propõe a minimização dos erros relativamente ao sinal de vento efetivamente observado. Aceite como um dogma, será que esta perspectiva corresponderia ao real problema enfrentado pelos decisores?

A este modelo, que designámos por paradigma do processamento de sinal ou paradigma do previsior, verificámos que nenhum dos atores aderiria na prática. Aos operadores de parques eólicos, oferecendo potência no mercado, o que interessava verdadeiramente era a minimização do valor das penalidades pagas em virtude dos desvios entre as previsões e o vento observado – a adoção deste ponto de vista corresponde à aceitação do paradigma do utilizador de previsões. Por exemplo, na Espanha o esquema de penalidades é assimétrico, o que tem como consequência que o valor ótimo pretendido pelos operadores de parques apresenta, de facto, um viés relativamente a um valor que minimizasse simplesmente os erros de previsão. Na Espanha, é interessante para os operadores de parques disporem de um sistema cujas previsões introduzem um erro sistemático por excesso e que os leve a oferecer mais potência do que um sistema "neutro" (sem viés) prognosticaria.

Porém, esta estratégia de oferta em excesso é altamente nociva para os interesses de um TSO, porque lhe vai provocar uma mais elevada frequência de necessidades de comprar potência de emergência e de provocar *ramping up* de geração. O TSO preferiria jogar pelo lado da segurança e, havendo uma previsão de potência eólica com viés por defeito, ter preparado no pré-despacho o leque de geração capaz de acudir à necessidade restante do consumo com alguma folga (que também acomoda incertezas no próprio consumo).

Um estudo de simulação para o mercado ibérico [2] concluiu claramente que este fenómeno era real e tinha que ser levado em conta.

Por outro lado, o próprio conceito de otimização teve que ser posto em causa. Na verdade, a generalidade dos modelos de previsão adotou como critério a minimização do erro quadrático (MSE – *minimum square error*). Este critério também aparece em muita literatura quase assumido como dogma, com as mais variadas justificações que poderíamos designar como "engenheirais": desde proporcionar uma função objetivo facilmente derivável, o que facilita a resolução computacional, a poder evitar grandes erros pontuais dada a penalização quadrática, até à pragmática observação de que muitos softwares disponíveis têm já embutido esse critério e é fácil usar.

Porém, uma nova perspectiva sobre o MSE permite constatar que ele corresponde, na verdade, a minimizar a variância da fdp (função densidade de probabilidade) da distribuição dos erros de previsão: é só ponderar na definição de variância como o valor esperado dos desvios quadráticos em ordem à média. E isto conduz a olhar o problema de previsão como um problema de Informação.

Para construir um sistema de previsão, devemos na verdade considerar três blocos como na Figura 1, que é um diagrama genérico para um mapeador que procura construir um modelo $g(x,w)$ de previsão de y a partir das entradas x e de pesos w que são as variáveis de decisão a otimizar.

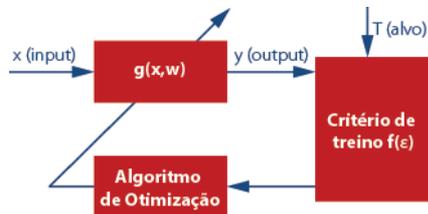


Figura 1: Blocos para a construção de um mapeador.

Do ponto de vista da teoria da informação, o que se pretende é que o modelo seja treinado sob um critério $f(\epsilon)$ em função dos erros ϵ de forma a que toda a informação constante do conjunto dos dados x passe a residir nos pesos w . Se assim for, então os erros serão nulos. Como o treino não é perfeito, a distribuição dos erros não é um impulso de Dirac centrado em zero e apresenta uma certa dispersão – reveladora de que alguma informação não passou para os pesos e fica nos erros ϵ .

Ora o MSE minimiza (apenas) a variância da fdp – e é sabido que só uma distribuição Gaussiana tem toda a informação contida nos seus dois primeiros momentos (associados a média e variância). Portanto, ao adotar-se um critério de MSE como otimizador, faz-se implicitamente a presunção de que a distribuição dos erros é Gaussiana: nada mais longe do que a prática mostra.

Para minimizar a informação residual deixada na distribuição dos erros, foi proposto por Principe e Xu [3] um critério de *Information Theoretic Learning* (ITL): a minimização da entropia da distribuição dos erros. A ideia é conceptualmente simples – a distribuição de entropia mínima é o impulso de Dirac e se a distribuição dos erros for assim, então todos são nulos (previsor perfeito!) ou todos são iguais, o que permitiria descontar o erro sistemático e chegar identicamente ao previsor perfeito. A expressão deste critério de entropia mínima (MEE) é equivalente à expressão

$$MEE(\epsilon) \Leftrightarrow \max V = -\frac{1}{N^2} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N G(\epsilon_i - \epsilon_j, 2\sigma^2 I)$$

A experiência de otimização deste critério mostrou a dificuldade prática de dimensionar um problema para trabalhar com a Gaussiana G das diferenças de pares de erros (com uma largura σ de janelas de Parzen construídas com *kernel* Gaussiano). Mais simples, mas com resultados semelhantes, revelou-se trabalhar com um critério de maximização da correntropia dos erros (MCC), dado por

$$MCC(\epsilon) \Leftrightarrow \max \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N G(\epsilon_i, \sigma^2 I)$$

Este critério, na verdade, define uma métrica no espaço que é muito propícia à atenuação ou eliminação da influência de *outliers* na construção do modelo. Ele tende a privilegiar distribuições dos erros que maximizam o valor na origem (digamos que maximizam a frequência de erro nulo) e, por isso, favorecem a emergência de distribuições que se aproximam de um Dirac. No fundo, proporcionam indiretamente uma minimização da entropia.

As experiências foram extremamente positivas. Essas experiências iniciaram-se com modelos de *nowcasting* (prever a potência de saída de um parque eólico dadas as características de velocidade e direção do vento no mesmo instante) em um parque eólico em Portugal. O modelo constituiu num FIS (Sistema de Inferência Difusa) de Takagi-Sugeno de ordem 0 com 10 regras difusas com pesos a serem determinados. Para a otimização, usou-se uma metaheurística EPSO (*Evolutionary Particle Swarm Optimization*) otimizando um critério MEE. A Figura 2 apresenta uma ilustração da complexidade deste, aparentemente simples, problema de previsão.

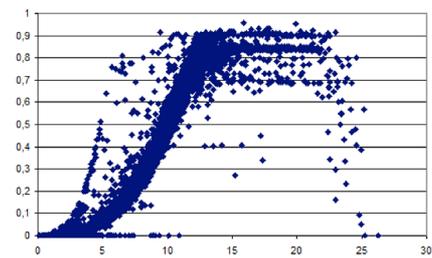


Figura 2: Velocidade do vento em m/s (eixo dos x) vs. potência produzida em percentagem do valor nominal – dispersão típica de um parque eólico em Portugal.

Os resultados foram extremamente encorajantes e mostraram como o critério MEE levou a uma mais satisfatória distribuição dos erros do que o MSE permitiu obter. Ao mesmo tempo, confirmou-se o peso computacional resultante do uso do critério MEE.

A aplicação das mesmas ideias à previsão de curto prazo em novos parques eólicos em Portugal conduziu também a melhorias significativas. A previsão envolve um problema significativamente maior, porque tem por base modelos meteorológicos que já carregam consigo erros próprios. Ganha-se uma ideia disto comparando a Figura 2 com a Figura 3 e verificando-se como para uma mesma velocidade prevista de vento médio pode ocorrer quase uma qualquer potência produzida.

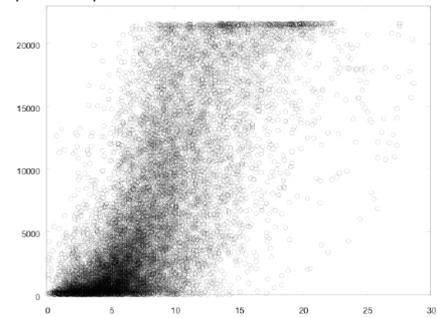


Figura 3: Dispersão de velocidade prevista vs. potência efetivamente gerada num parque eólico – muito mais dispersão do que em *nowcasting* sobre valores medidos.

Pode ver-se na Figura 4 como a otimização do critério MCC conduziu a uma distribuição evidenciando muito maior frequência de erros próximos de zero. Em simultâneo, aprecie-se como as distribuições dos erros são claramente não-Gaussianas – é por isso que a aplicação cega de um critério de mínimos quadrados não pode ser otimizador e deixa informação na distribuição dos erros. No caso presente, o preditor desenvolvido consistiu numa rede neuronal treinada com o algoritmo iRPROP e como variáveis de entrada usou-se a previsão da velocidade e direção do vento (na forma de seno e cosseno) dadas por um modelo meteorológico e a hora de previsão (também na forma de seno e cosseno).

A mesma qualidade de resultados foi conseguida em diversos outros parques com potências semelhantes das reduzidas dezenas de MW.

O mesmo tipo de resultados se obteve quando se passou para a simulação da previsão em parques eólicos no Mid-west americano e com 72h de antecedência. Havia duas diferenças relevantes face a parques eólicos em Portugal: a dimensão dos parques – nos EUA, tratava-se de parques da ordem das várias centenas de MW de potência instalada, contra reduzidas dezenas de MW em Portugal – e a orografia do terreno – em Portugal, os parques costumam dispor-se em zonas montanhosas de orografia complicada enquanto que nos EUA tratava-se de parques dispostos geometricamente em grandes planícies abertas.

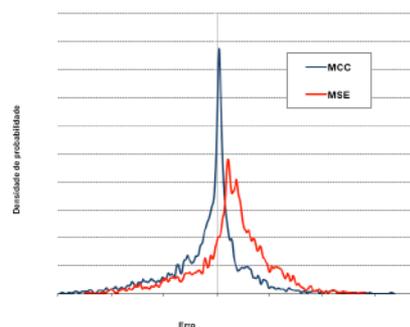


Figura 4: Distribuições de erros para um predictor a 24h, otimizando MSE e MCC, num parque eólico em Portugal.

Com dados fornecidos pela Horizon, via ANL, construiu-se uma base de dados de histórico de produções em dois grandes parques nos EUA e pode experimentar-se uma bateria de modelos. Em síntese, os modelos otimizando os parâmetros ou pesos do predictor tendo por base critérios de custo ou desempenho do tipo MCC (maximizando a correntropia da distribuição dos erros) puderam apresentar progressos de qualidade e precisão quando comparados com modelos centrados nos mínimos quadrados.

Uma forma de apreciar a qualidade dos resultados é olhar para o histograma descritor da ocorrência de valores de potência produzida por um parque e compará-lo com o diagrama emergente dos vários modelos de previsão. É o que se apresenta na Figura 5.

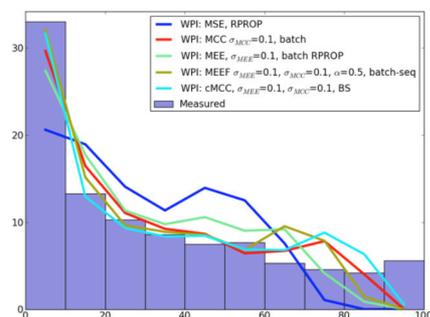


Figura 5: Histograma de potência produzida em comparação com as previsões oferecidas por vários modelos.

Como se pode ver, o modelo otimizado segundo um critério de mínimos quadrados (MSE) é muito menos aderente à realidade do que os com base em critérios de ITL. Em particular, os modelos com base em MCC provaram ser de otimização viável em tempo útil e muito mais rápidos do que os com base em MEE.

Convém acrescentar que o INESC TEC desenvolveu também para o ANL modelos adaptativos em tempo real de previsão de curto prazo e que esta opção se revelou ainda de maior qualidade [1]. Nos modelos adaptativos, de uma forma ou de outra, procura-se que o sistema aprenda rapidamente novas características do processo real e esqueça características antigas que já não são relevantes. Estes modelos formaram um pacote de modelos preparado para ser usado por desenvolvedores de sistemas de previsão de potência eólica e são disponibilizados pelo ANL sob o nome de **ARGUS PRIMA – Prediction Intelligent Machine** para universidades e empresas.

Não admira portanto, que também, na procura de um modelo de previsão que levasse em conta o paradigma do consumidor de previsões e se afastasse do paradigma do predictor, os modelos de otimização com base em ITL apresentassem interesse.

Na verdade, o estudo para o mercado ibérico mostrou que modelos tendo por base critérios já não de minimização de erros mas sim de minimização das penalidades associadas aos erros permitem uma estratégia de oferta de potência no mercado de eletricidade da península que maximiza proveitos extraídos da venda de energia elétrica pelas empresas de produção eólica. E, de entre esses modelos, os que adotaram critérios associados à entropia das distribuições do erro foram os que produziram melhor compromisso entre o sonho utópico de ter uma previsão perfeita e a vontade legítima de maximizar os ganhos.

A maior dificuldade que se pode associar à adoção de modelos com base em conceitos de entropia é que os critérios de otimização deixam de ser bem comportados. O MSE lida com funções quadráticas – mas os critérios de entropia definem funções que podem levar a uma diversidade de ótimos locais. Estratégias para uma otimização adequada e computacionalmente eficiente ainda são tema de pesquisa importante,

principalmente quando se pensa em modelos adaptativos e on-line, para os quais é mais duvidoso que a adoção de metaheurísticas possa ser a estratégia adequada. De todas as formas, o trabalho realizado em colaboração com o Argonne National Laboratory ajudou a libertar a otimização de modelos das baixas mentais impostas pelos generalizados mínimos quadrados e constitui um ótimo caso que pode servir para iluminar outros cientistas ou práticos da aplicação da otimização de modelos. Não interessa que o modelo seja bonzinho e de comportamento dócil se a realidade for diversa da que o modelo representa.

ARGUS

Equipa do INESC TEC, Portugal

Vladimiro Miranda, Ricardo Bessa, Jean Sumaili, Hrvoje Keko, Joana Mendes, João Gama, Carlos Ferreira

Equipa do ANL, EUA

Audun Botterud, Jianhui Wang, Zhi Zhou

Site: <http://www.dis.anl.gov/projects/windpowerforecasting.html>

Referências

- [1] Bessa, R. J., Miranda, V., Gama, J., Entropy and correntropy against minimum square error in offline and online three-day ahead wind power forecasting, *IEEE Transactions on Power Systems*, 24, 1657-1666, 2009.
- [2] Bessa, R. J., Miranda, V., Botterud, A., Wang, J., Good or bad wind power forecasts: A relative concept, *Wind Energy*, 14, 625-636, 2011.
- [3] Principe, J. C., Xu, D., Introduction to information theoretic learning, *Proc. International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN'99)*, Washington DC, EUA, 1783-1787, 1999.

A LINHA DE IO DO CENTRO DE MATEMÁTICA E APLICAÇÕES (CMA)

UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

Isabel Gomes,
Departamento de Matemática FCT – UNL / CMA - UNL



A linha de Investigação Operacional é uma das quatro linhas de investigação científica que integram o Centro de Matemática e Aplicações da Universidade Nova de Lisboa. A linha de IO (como é carinhosamente apelidada pelos membros do centro) é formada, neste momento, por oito investigadores integrados e um colaborador interno, todos professores auxiliares do Departamento de Matemática da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa (FCT-UNL).

O Centro de Matemática e Aplicações nasceu, em 1993, da reestruturação de um anterior centro de investigação. De entre as áreas a que foi dada continuidade conta-se a da Investigação Operacional. Nessa data a coordenação da linha de IO era da responsabilidade do Professor Ruy Costa, tendo esta sido posteriormente assumida pela Professora Paula Amaral. Desde 2009, a coordenação da linha é da responsabilidade da Professora Isabel Gomes.

Desde o seu início, a linha de IO apoiou vivamente a formação avançada dos seus membros não doutorados, cujas dissertações de doutoramento focaram diversas áreas da optimização. Estas linhas de investigação prosseguiram após completados os doutoramentos, mantendo-se também algumas das colaborações então estabelecidas (Universidade de Coimbra, Universidade de Lisboa, Universidade Técnica de Lisboa).

A linha de IO tem como missão o desenvolvimento e crescimento científico dos seus membros, providenciando condições que proporcionem e incentivem a colaboração interna e a criação de colaborações externas, através da participação em conferências/simpósios nacionais e internacionais, de estadias de curta duração

dentro e fora do país, do acolhimento de visitantes nacionais e estrangeiros, entre outras actividades. Destaca-se ainda a organização de seminários regulares, no âmbito desta linha de investigação.

A optimização (combinatória e não linear) tem sido o principal objecto de investigação, recorrendo-se tanto a algoritmos exactos como a meta-heurísticas. No domínio da optimização combinatória, a investigação tem contribuído para o aprofundamento do conhecimento existente sobre o problema de localização de instalações e de *hubs* em diversas vertentes: formulações exactas, abordagens meta-heurísticas, desenvolvimento de desigualdades válidas, modelação estocástica da incerteza da procura e modelação de impactos ambientais. Outros trabalhos têm passado pelo desenvolvimento de modelos de escalonamento de projectos com recursos flexíveis, de projecto de instalações fabris *multi-purpose*, de rotas de veículos e de transporte porta-à-porta e pelo estudo do problema de afectação estocástica generalizado.

No âmbito da optimização não linear, a investigação da linha de IO tem incidido no desenvolvimento de algoritmos (e correspondentes implementações computacionais) para a resolução de problemas de optimização uni e multiobjectivo sem o recurso a derivadas. O problema de valores próprios complementares tem sido igualmente um dos tópicos de investigação considerados. Tem-se ainda aprofundado o conhecimento existente sobre a aplicação de técnicas de programação semi-definida na resolução do problema da satisfação proposicional e de problemas quadráticos fraccionados, neste último caso com aplicação à resolução de sistemas inconsistentes de equações lineares.

Muitos dos trabalhos desenvolvidos têm visto a sua aplicação em problemas reais nas áreas da engenharia, da medicina e da gestão. Na área da engenharia destacam-se colaborações em problemas de mecânica estrutural, ao nível do projecto de estruturas. Em medicina, o trabalho desenvolvido envolve o reconhecimento de padrões de sinais vitais humanos, tendo sido já destacado com a atribuição de um prémio ao nosso colega Rui Rodrigues por ter vencido o *PhysioNet/CinC 2010 Challenge*, concurso organizado nesse ano pela *Harvard-MIT Division of Health Sciences and Technology*. Em gestão destaca-se o desenho de uma rede de recolha de equipamentos eléctricos e electrónicos, a modelação de uma rede de armazéns de uma empresa de distribuição e o re-projecto da cadeia de abastecimento de um produtor de baterias. Muitos destes trabalhos são desenvolvidos em colaboração estrita com investigadores e profissionais de outras áreas, no âmbito de projectos de investigação.

Os elementos da linha têm ainda estado envolvidos na organização de diversos eventos científicos, de entre os quais se destacam o IO 2009, o Optimization 2011, estando neste momento em preparação o ICCOPT 2013, que terá lugar na FCT – UNL em Julho de 2013.

Para mais informações sobre a linha de IO poderão aceder a www.cma.fct.unl.pt.

PORTUGUESES EM IO PELO MUNDO

Helena Ramalinho Dias Lourenço,
Professora Associada na Universitat Pompeu Fabra, Espanha



Foi com grande prazer que recebi o convite da Comissão Editorial para partilhar com os leitores do Boletim da APDIO o meu percurso profissional e também pessoal relacionado com a Investigação Operacional.

O meu primeiro contacto com a Investigação Operacional começou no ano 1983 quando no segundo trimestre da licenciatura frequentei a disciplina de "Introdução à Investigação Operacional". Até esse momento, não tinha ideia de que tratava esta disciplina, e fiquei fascinada com as possíveis aplicações da mesma. Tinha escolhido seguir o curso de Matemáticas Aplicadas, pois gostava muito de Matemática, mas gostava da parte aplicada e não tanto da parte mais teórica. Obtive a melhor nota nesse primeiro ano na Faculdade de Ciências e a partir desse momento estava convencida que queria trabalhar em Investigação Operacional.

Acabei a licenciatura no ano 1986/1987, depois de fazer um interessante estágio na empresa Correios e Telecomunicações de Portugal (hoje Portugal Telecom), onde tive oportunidade de trabalhar no desenho de

redes de telecomunicações, em particular para a área de Internet. Nesse momento era um tema muito novo e muito pouco conhecido. Recordo que um dia nas aulas de Inglês no Instituto Americano explicava o que fazia, o que seria a Internet e o impacto que isso podia ter nas vidas das pessoas (era um exercício para incrementar o vocabulário) e os meus colegas todos pensaram que eu tinha visto demasiados filmes de Ficção Científica. Com esse trabalho publiquei o meu primeiro artigo na Revista de Investigação Operacional.

No ano seguinte, inscrevi-me no Mestrado de Estatística e Investigação Operacional, onde pude melhorar os meus conhecimentos nesta disciplina. Foram uns excelentes anos, pois além de descobrir que gostava de dar aulas, também fiz muitos amigos entre os colegas e alguns alunos do mestrado, hoje gente muito reconhecida na área, como o Luís Gouveia, Ana Paias, Francisco Saldanha da Gama, e muitos outros. Também houve professores que tanto na licenciatura como no mestrado marcaram a minha carreira na Investigação Operacional. Não podia deixar de mencionar o Professor

Pinto Paixão que certamente me motivou muito para esta área, a Professora Eugénia Captivo, a Professora Isabel Branco, o próprio Luís Gouveia que, quer como professor, quer como amigo, sempre transmitiu o seu entusiasmo pela área.

Mas depois de fazer todas as cadeiras do mestrado, e ainda antes de acabar a tese de mestrado, decidi ir para os Estados Unidos fazer o doutoramento. Candidatei-me a várias universidades e escolhi a Cornell University, no estado de Nova York. Para dizer a verdade, não sei bem porquê. Eu queria ir para os Estados Unidos, mas não queria nenhum estado do interior dos EUA. Nova York parecia-me uma boa opção (não sabia eu o frio que fazia em Ithaca). Estive desde Agosto de 1989 a Julho de 1993 na Cornell, onde trabalhei com o Prof. David Shmoys em temas de *Scheduling*. Em particular, a minha tese foi sobre o *Job-Shop Scheduling Problem*, incluindo uma das primeiras aplicações do algoritmo hoje conhecido como *Iterated Local Search*. Foram uns anos muito bons pois não só trabalhei muito, como também aprendi e me diverti muito. Os anos em Cornell vão

marcar o resto da minha vida até hoje, pois aí conheci o meu marido Victor e a razão porque hoje vivo em Barcelona.

Antes de me mudar para Barcelona, estive uns anos de regresso à Faculdade de Ciências como professora auxiliar. Durante dois anos fui vice-presidente da APDIO em conjunto com a Professora Isabel Themido. Foram uns anos ótimos profissionalmente, mas pessoalmente não tanto. Por isso no ano 1996 decidi vir para Barcelona por um ano trabalhar numa empresa de consultoria. Foi uma excelente experiência tanto do ponto de vista do desafio de trabalhar como consultora, como pessoal. Fiquei encantada com a cidade, uma mistura da organização do norte com a alegria do sul! Finalmente, candidatei-me a um lugar de professora auxiliar no Departamento de Economia e Empresa da Universitat Pompeu Fabra (UPF). Ofereceram-me o lugar e aqui estou, ainda na UPF, agora como professora associada. Os primeiros anos não foram fáceis, tinha de dar aulas em espanhol e de temas de empresa mas

superei com esforço e trabalho, e agora felizmente estou a dar aulas de Investigação Operacional outra vez. Além de dar aulas e investigar também tive vários cargos na UPF: vice-diretora de departamento, “vice-decana” da Faculdade de Ciências Económicas e Empresariais, membro do comité de avaliação docente, etc. Atualmente só ocupo um cargo (felizmente!!!): sou diretora do Master in ICT Strategic Management da Barcelona School of Management (que obviamente recomendo!).

O meu trabalho de investigação segue a linha iniciada com o doutoramento: Otimização Combinatória (Scheduling, Vehicle Routing, Cliques, etc.) e Metaheurísticas. Em particular, cada dia estou mais interessada em resolver problemas reais que apresentam uma grande complexidade e necessitam de uma solução em segundos. Para isso, metaheurísticas eficientes são a resposta mais adequada. Um dos problemas em que trabalhamos é um problema de roteamento de veículos para uma grande empresa de distribuição, donde o algoritmo deve dar uma resposta em minutos, pois

desta forma reduz-se o tempo entre pedido e entrega, permitindo melhorar o serviço ao cliente. Este trabalho de investigação realiza-se em conjunto com outros membros do grupo de investigação da UPF: Business Analytics Research Group.

Como resumo, adoro viver em Barcelona, gosto do trabalho que faço em Investigação Operacional (foi uma escolha acertada), e sobretudo adoro a minha família. Vivo em frente ao mar com o Victor e os nossos filhos, Vera e Bruno... ambos fãs do Futebol Clube de Barcelona... e adoro receber os amigos aqui em Barcelona. Mas também gosto muito de ir a Portugal, visitar a família e os amigos...

Barcelona, 16 de Novembro de 2012
Helena Ramalhinho Dias Lourenço

BLOG DOS SÓCIOS

APDIO - ASSOCIAÇÃO PORTUGUESA DE INVESTIGAÇÃO OPERACIONAL: BREVE RESENHA HISTÓRICA

Pedro Oliveira,
ICBAS, Universidade do Porto
Domingos Moreira Cardoso,
Departamento de Matemática, Universidade de Aveiro

Missão e organização

A Associação Portuguesa de Investigação Operacional (APDIO) foi fundada em 1978 por 140 membros, incluindo investigadores universitários, profissionais da indústria e dos serviços, e vários Institutos e Empresas como sócios institucionais. A lista de membros incluiu: LISNAVE – Estaleiros Navais, S.A., PETROGAL, INESC – Instituto de Engenharia de Sistemas e Computadores, Direcção Geral de Recursos Hídricos, LNETI - Laboratório Nacional de Engenharia e Tecnologia Industrial, PROFABRIL Engenharia, S. A., CIFAG – Instituto de Participações do Estado, Banco Espírito Santo e Comercial de Lisboa, CESUR - Centro de Sistemas Urbanos e Regionais, CTT – Correios de Portugal, CAUTL - Centro de Automação da Universidade Técnica de Lisboa, INA - Instituto Nacional de Administração, Direcção Geral de Energia, PARTEX Oil and Gas Corporation.

O principal objectivo da APDIO é a disseminação dos avanços mais recentes em Investigação Operacional, as suas melhores práticas e, acima de tudo, fomentar os contactos da comunidade à volta dos seus desafios e interesses de investigação.

A APDIO define como sua missão contribuir para o avanço da Investigação Operacional através de cursos, seminários, encontros, conferências e publicações. Adicionalmente, a APDIO promove a troca de resultados, experiências e aplicações de Investigação Operacional por meios electrónicos como é o caso da sua página web (<http://apdio.pt>).

A APDIO está organizada em vários órgãos - Assembleia Geral, Comissão Directiva e Conselho Fiscal – eleitos por um período de dois anos. Actualmente a APDIO tem cerca de 300 membros e está sediada no CESUR-IST, Universidade Técnica de Lisboa.

Actividades

A APDIO é, desde a sua criação, membro da International Federation of Operational Research Societies - IFORS e da International Federation of Automatic Control - IFAC. Mais tarde, tornou-se membro da Association of European Operational Research Societies - EURO e esteve envolvida na fundação, em 1982, da Asociación Latino-Iberoamericana de Investigación Operativa, ALIO.

Ao longo da sua existência, a APDIO organizou 15 Congressos Nacionais nas seguintes cidades: Lisboa, 1982; Porto, 1984; Coimbra, 1987; Lisboa, 1989; Évora, 1992; Braga, 1994; Aveiro, 1996; Faro, 1998; Setúbal, 2000; Guimarães, 2002; Porto, 2004; Lisboa, 2006; Vila Real, 2008; Caparica, 2009; Coimbra, 2011. O próximo Congresso, a realizar em 2013, terá lugar em Bragança.

Além destas realizações de âmbito nacional, a APDIO organizou e apoiou cerca de 30 Conferências Internacionais, de entre as quais se destacam as seguintes:

- EURO VIII - European Conference on Operational Research, Lisboa, Setembro, 1986;
- IFORS 93 - XIII World Conference on Operations Research, Lisboa, Julho, 1993;
- The Optimization Conferences (Braga, 1995; Coimbra, 1998; Aveiro, 2001; Lisboa, 2004; Porto, 2007; Caparica, 2011);
- EURO XXIV - European Conference on Operational Research, Lisboa, Julho, 2010.

A revista científica da APDIO, Investigação Operacional, foi publicada entre 1981 e 2008, totalizando 28 volumes. Os Editores foram: Isabel Hall Themido, Universidade Técnica de Lisboa, 1981-1983; José Manuel Viegas, Universidade Técnica de Lisboa, 1984-1985; José Pinto Paixão, Universidade de Lisboa, 1986-1987; Joaquim João Júdice, Universidade de Coimbra, 1988-2004; José Fernando Oliveira, Universidade do Porto, 2004-2008.

O Boletim da APDIO foi publicado, duas vezes por ano, entre 1984 e 2005, tendo sido retomada a sua publicação em 2010. Os Editores foram: José Manuel Viegas, Universidade Técnica de Lisboa, 1984-1986; António José Rodrigues, Universidade de Lisboa, 1987-1990; Jorge Pinho de Sousa, Universidade do Porto, 1991-1992; Carlos Henggeler Antunes, Universidade de Coimbra, 1993-1999; João Paulo Costa, Universidade de Coimbra, 2000-2002; João Luís Soares, Universidade de Coimbra, 2003-2005; Ana Camanho e Bernardo Almada-Lobo, Universidade do Porto, 2010-2011. As actuais Editoras são Ana Luísa Custódio e Isabel Correia, Universidade Nova de Lisboa.

Tendo em consideração que muita da visibilidade da Investigação Operacional resulta das suas aplicações na indústria e nos serviços, em 2000, a APDIO patrocinou a publicação de um livro acerca de casos de estudo de aplicações da Investigação Operacional em Portugal, editado por Carlos Henggeler Antunes (Universidade de Coimbra) e Luís Valadares Tavares (Universidade Técnica de Lisboa) [1]. Presentemente, está em preparação um outro livro apresentando casos de sucesso de aplicações de Investigação Operacional, editado por José Soeiro Ferreira (Universidade do Porto) e Rui Carvalho Oliveira (Universidade Técnica de Lisboa).

Nos últimos 30 anos, as actividades da Associação foram desenvolvidas, essencialmente, pelos seus associados, investigadores e profissionais, que dedicaram muito do seu esforço a promover a Investigação Operacional através da APDIO. A este propósito, mencionam-se aqueles que tiveram a maior responsabilidade, os Presidentes: Luís Valadares Tavares, Universidade Técnica de Lisboa (1978-1985); José Dias Coelho, Universidade Nova de Lisboa (1986-1989); Rui Campos Guimarães, Universidade do Porto (1990-1994); Isabel Hall Themido, Universidade Técnica de Lisboa (1995-1996); Luís Valadares Tavares, Universidade Técnica de Lisboa (1997-1998); José Soeiro Ferreira, Universidade do Porto (1999-2001); José Valério de Carvalho, Universidade do Minho (2002-2004); Jorge Pinho de Sousa, Universidade do Porto (2005-2009); Joaquim João Júdice, Universidade de Coimbra (2010-2011).

Desafios futuros

Os desafios futuros podem ser sintetizados no reforço da presença da comunidade de Investigação Operacional na sociedade portuguesa. A presente crise financeira, embora com efeitos negativos directos no financiamento da investigação e das instituições de educação superior, pode ser uma oportunidade para a comunidade de Investigação Operacional. A pressão para reduzir custos a todos os níveis e para a utilização mais eficiente dos recursos limitados, desafia a comunidade de Investigação Operacional para intervir, usando as suas técnicas e ferramentas para propor soluções. A este propósito, a actual Direcção definiu duas grandes áreas de intervenção pública - energia e sistemas de saúde (nomeadamente os problemas levantados pelos custos elevados e respectivos impactos no desenvolvimento económico e social do país).

A maioria dos membros da APDIO são investigadores em Universidades e Politécnicos. Contudo, várias instituições e empresas estão também presentes, através dos seus profissionais de Investigação Operacional, e algumas como membros institucionais. Um dos principais objectivos é aumentar a participação dos sectores industrial e de serviços nas iniciativas da APDIO e melhorar a utilização das metodologias da Investigação Operacional nestas áreas. Os encontros de um dia, "Investigação Operacional nas Empresas", com o objectivo de envolver académicos e profissionais na análise de problemas específicos, partilhando experiências, serão mais frequentes e alargados a mais instituições.

A APDIO também considera que a sua presença no sistema de ensino deve ser reforçada. Em primeiro lugar, a APDIO deve contribuir para a definição dos currículos de Matemática no ensino secundário, de modo a

contemplar o seu campo de conhecimento que é largamente desconhecido do grande público. Em relação ao ensino superior, a APDIO entende que a reforma de Bolonha pode ter, em algumas graduações, reduzido a presença da Investigação Operacional nos currículos. Por essa razão, de um modo geral, o ensino da Investigação Operacional foi empurrado para o nível pós-graduado. Neste caso, a APDIO vem desafiando as várias Universidades para o desenvolvimento de um Programa Doutoral em Investigação Operacional. A investigação nesta área é também uma grande

preocupação, em particular, devido à esperada redução de fundos de apoio à investigação científica. A APDIO, em conjunto com diferentes grupos de investigação, está a pressionar a Fundação para a Ciência e a Tecnologia no sentido da criação de uma área de financiamento dedicada, exclusivamente, à Investigação Operacional.

Por último, deve ser mencionado que acreditamos na continuidade da APDIO como enquadramento institucional de referência para a comunidade de Investigação

Operacional em Portugal. A renovação de gerações, os novos problemas, de natureza social e económica, colocados ao desenvolvimento das sociedades humanas, determina que a Investigação Operacional tenha uma presença necessariamente mais efectiva no desenvolvimento que todos pretendemos.

Nota: Este texto constitui um excerto retirado de [2].

Referências

[1] Antunes, C. H., Tavares, L. V., *Casos de Aplicação da Investigação Operacional em Portugal*, McGraw-Hill Portugal, Lisboa 2000.

[2] Cardoso, D. M., Oliveira, P., Portuguese Operational Research Society - APDIO, a publicar na *Wiley Encyclopedia of Operations Research and Management Science*.

OUTRAS NOTÍCIAS

Pelo terceiro ano consecutivo, foi atribuído o Prémio APDIO - FCT UNL ao melhor aluno de IO da Faculdade de Ciências e Tecnologia da UNL, que foi constituído com parte dos lucros do IO2009 - 14º congresso nacional da APDIO, que decorreu na FCT-UNL. O prémio relativo ao ano lectivo de 2011/12 foi atribuído *ex-aequo* a **David Beirão da Cruz Silva**, aluno do Mestrado Integrado em Engenharia e Gestão Industrial e a **Telma Alexandra dos Santos Vieira**, aluna do Mestrado em Matemática e Aplicações daquela faculdade. Os diplomas e cheques correspondentes ao prémio foram entregues na celebração do Dia da FCT-UNL, que teve lugar no passado dia 5 de Dezembro de 2012, na referida faculdade.

No passado mês de Julho, durante a conferência EURO 2012 que decorreu em Vilnius, na Lituânia, o professor **José Fernando Oliveira**, docente da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, foi re-eleito Vice Presidente 2 da *Association of European Operational Research Societies* - EURO.

O EURO criou três novos prémios anuais a atribuir aos autores dos melhores artigos publicados no *European Journal of Operational Research (EJOR)* nas categorias de *survey*, aplicações e teoria/metodologia. Durante o EURO 2012, foram premiados os Professores **Maria Teresa Melo** e **Francisco Saldanha da Gama**, membros do Centro de Investigação Operacional (CIO), da Faculdade de Ciências de Lisboa, enquanto co-autores do artigo premiado na categoria de *survey*. Deixa-se a referência deste trabalho:

Melo, M. T., Nickel, S., Saldanha-da-Gama, F., Facility location and supply chain management - A review, *EJOR*, 196, 401-412, 2009.

TESES DE DOUTORAMENTO CONCLUÍDAS RECENTEMENTE

Autor: **Rohollah Garmanjani**

Título: *Smoothing and Worst Case Complexity for Direct-Search Methods in Non-Smooth Optimization*
Instituição: Departamento de Matemática da FCTUC
Designação do Doutoramento: Doutoramento em Matemática

Data de conclusão: 13 de Dezembro de 2012

Orientador: **Luís Nunes Vicente**

EVENTOS ORGANIZADOS PELA APDIO

IO2013 - XVI Congresso Nacional da APDIO

3 a 5 de Junho de 2013

Bragança, Portugal

<http://www.io2013.ipb.pt>

EVENTOS APOIADOS PELA APDIO

3rd Winter School on Network Optimization

14 a 18 de Janeiro de 2013

Estoril, Portugal

<http://netopt2013.fc.ul.pt>

The 16th EURO Working Group on Transportation Annual Meeting

4 a 6 de Setembro de 2013

Porto, Portugal

<http://www.ewgt2013.com>

Qualquer contribuição para o Boletim deve ser enviada para boletim.apdio@campus.fct.unl.pt