

1. O que é a Investigação Operacional

Não existe uma definição precisa para o termo Investigação Operacional, que seja universalmente aceite.

Por exemplo, a Sociedade de Investigação Operacional da Inglaterra define IO do seguinte modo: “ IO é a aplicação de métodos científicos a problemas complexos existentes na direcção e gestão de grandes sistemas de homens, máquinas e recursos financeiros na indústria, comércio, governo e defesa. A sua característica distintiva em termos de abordagens é o desenvolvimento de um modelo científico do sistema em análise, incorporando medidas de factores como a incerteza e o risco, com o qual se comparam os resultados de decisões, estratégias ou controlos alternativos. A finalidade consiste em ajudar os gestores a determinar cientificamente a sua política e acções.”

A Sociedade de Investigação Operacional dos E.U.A. adopta a seguinte definição: “IO está relacionada com o processo de decidir cientificamente a melhor maneira de operar com sistemas de homens e máquinas geralmente em condições requerendo a afectação de recursos escassos.”

De uma forma resumida pode-se dizer que a IO se relaciona com a alocação e planeamento de situações complexas envolvendo recursos escassos ou limitados, utilizando **modelos** (representações aproximadas dos sistemas reais modelizados ignorando, deliberadamente, detalhes que não sejam considerados relevantes), para analisar e prever o comportamento de sistemas influenciados pelas decisões humanas. A decisão é tomada com base em dados numéricos, obtidos por medição e contagem, prosseguindo com a sua análise objectiva e de relacionamento sistemático. Embora este atributo dê à IO alguma similaridade com as ciências físicas, a IO difere delas devido à **natureza dos sistemas estudados**: além de serem governados pelas leis da natureza são também governados, pelo menos em parte, por manifestações de carácter humano.

Para resolver um problema complexo a IO faz uma aproximação analítica tipicamente reducionista, na medida em que: - na construção do modelo simplifica as relações entre as variáveis, considerando apenas as que dominam o comportamento do sistema; - na análise de sistemas complexos os decompõe em subsistemas de menor dimensão de mais fácil resolução

e compreensão. Infelizmente, por vezes para este último caso, as melhores soluções obtidas para cada subproblema não o são para o problema global na medida em que, com a dissecação do sistema, perde-se a sua visão global, desvirtuando-se as interacções existentes entre as partes consideradas.

Assim, o desafio proposto ao investigador é construir modelos que dêem uma descrição simplificada do sistema a estudar, mas que seja holístico na medida em que não deve deixar de considerar aspectos importantes para a estrutura, como um todo.

Devido à preocupação com a conexão entre as partes componentes do sistema e não apenas com a constituição interna de cada uma, a IO é muitas vezes descrita com uma componente da Engenharia de Sistemas. Estas duas disciplinas estão orientadas para os sistemas, tendem a usar equipas interdisciplinares e aplicam métodos científicos para a resolução dos problemas de controlo e projecto, contudo, em termos gerais pode-se admitir que a IO está mais orientada para a gestão dos sistemas em operação, enquanto a Engenharia de Sistemas está orientada para o seu estudo e projecto.

2. O início da IO

A actividade que hoje é conhecida como IO iniciou-se e desenvolveu-se nas forças armadas Inglesas, no período 1935-1945, relacionando-se o seu começo com a decisão tomada, pelo British Air Ministry em 1935, para o desenvolvimento do radar que deveria equipar a defesa Britânica contra os aviões hostís. Em 1936, depois de diversas experiências efectuadas utilizando estações de radar encadeadas, os problemas técnicos estavam ultrapassados. O radar passa a ser uma ferramenta de carácter militar, contudo, as dificuldades operacionais permaneciam. Foi então constituída uma equipe com o objectivo de estudar a forma de tornar o equipamento mais eficiente, surgindo o termo IO.

Com o sucesso obtido nas actividades relacionadas com o radar e com a entrada da Inglaterra na 2ª Grande Guerra, em 1939, a IO foi aplicada a outras áreas. Citem-se a título de exemplo, a definição de estratégias de bombardeamentos nocturnos, a organização de lista dos voos em função dos aviões disponíveis e das tripulações quer de terra quer de ar, a

definição das melhores formas de ataque às posições inimigas. O sucesso manifestado conduziu ao alargamento da IO às forças militares dos países aliados.

No final da Guerra a IO era utilizada em todas as áreas militares, existindo uma colaboração permanente entre civís e militares.

Será que existiu anteriormente, a esta data, alguma actividade que pudesse ser equivalente à IO? Se sim, porque não teve o desenvolvimento da iniciada no período da 2ª Grande Guerra de modo a ser conecida; se não, quais as condições particulares existentes entre 1935-45 que permitiram tão frutuoso desenvolvimento.

Na verdade quer Charles Babbage (1792-1871) na Inglaterra quer Frederick Taylor (1856-1915) nos E.U.A. tentaram desenvolver actividades que hoje se consideram da área de actuação da IO, contudo, nenhum foi bem sucedido.

Na Inglaterra, a segmentação da ciência e da indústria desde o início da Revolução Industrial, restringiu o desenvolvimento das actividades do âmbito da IO, antes do período da 2ª Guerra Mundial. Desta forma as contribuições de Babbage e outros investigadores não puderam ser potencialmente desenvolvidas devido ao ambiente institucional não o permitir. Os métodos científicos baseados na observação não eram aplicados aos problemas de decisão comuns aos gestores. Entre 1920 e 1930, o governo tentou criar um ambiente conducente ao desenvolvimento, mas as atitudes culturais permaneciam uma barreira.

Nos E.U.A., tendo por base as ideias de Taylor, existia uma clara associação entre a gestão científica e a IO. Admitia-se que se podia melhorar os benefícios, quer para os empregadores quer para os empregados, se se efectuasse uma gestão científica. Surgiram os consultores de gestão. O ambiente permitia e encorajava a multidisciplinaridade das actividades necessárias à gestão mas, antes de 1939, a maior diferença entre a gestão científica e a IO residia nas origens das disciplinas. Taylor, Gantt e outros eram engenheiros que adoptaram uma atitude científica. Faltava uma interacção entre estes e os cientistas puros.

No início da 2ª Guerra Mundial criaram-se as condições, fundamentais ao desenvolvimento da IO, que faltaram, quer na Inglaterra quer nos E.U.A., nos anos anteriores. Primeiro, existia uma grande proximidade entre os cientistas habituados a utilizar métodos sofisticados de análise e os gestores defrontados com decisões complicadas. Segundo, a guerra iminente e, eventualmente, a realidade da guerra tornou efectivas as operações de

grande significado que conduziram à diminuição de barreiras institucionais, que em tempo de paz, impediram o trabalho conjunto de cientistas e decisores, de civis e militares. O sucesso da equipa de IO nas operações do radar contribuiu para convencer as pessoas dos benefícios da utilização de métodos científicos na análise de operações. Depois da guerra a IO foi facilmente aplicada ao sector industrial. Nos E.U.A. a IO, depois de 1945, foi aceite como uma extensão da actividade de consultoria em gestão. Na Europa a situação demorou mais algum tempo a ser alargada.

3. Exemplos de problemas de IO

Nos anos 50 a IO teve grande desenvolvimento, tendo-se definido um conjunto de problemas considerados típicos da área da IO que deveriam ser resolvidos utilizando métodos de resolução característicos. Por exemplo podem-se enumerar os seguintes problemas:

Problema de Gestão de “Stocks”:

A empresa Mananás vende ananás da Ilha da Madeira aos hipermercados do continente. A principal dificuldade da empresa reside no cumprimento dos prazos de entrega aos hipermercados.

O transporte do ananás é efectuado por barco custando à empresa 10.000€ por encomenda. O tempo de entrega, incluindo a viagem, tem uma duração média de 5 semanas com um desvio padrão de 2 semanas.

Para além do transporte, a empresa paga uma taxa por utilização dos portos no valor de 250€ por tonelada de ananás e, ainda, uma renda anual de 35.400€ por tonelada, pelo aluguer do armazém refrigerado.

Económicamente o negócio tem-se revelado atractivo com margens consideráveis. A empresa compra o ananás na madeira a 3.5€ por quilograma e vende-o aos hipermercados a 7€ por quilograma.

Uma análise à procura semanal da empresa, com valores do último ano, permitiu concluir que segue uma distribuição aproximadamente normal com média de 5.000 toneladas por semana e um desvio padrão de 500 toneladas.

Pretende-se encontrar respostas para as seguintes questões:

- A quantidade óptima a encomendar, admitindo que a empresa segue um modelo determinístico.
- O “stock” de segurança e o ponto de encomenda, admitindo que a empresa definiu como nível de serviço mínimo para a sua política uma probabilidade de rotura de 1%.

Problema de Planeamento de Produção:

Uma empresa de produção de adubos tem uma previsão de vendas para os próximos três meses de 12.000, 9.000 e 18.000 toneladas, respectivamente.

O seu “stock” actual é nulo.

A capacidade de produção é de 10.000 toneladas por mês, em turno normal, a um custo de 50 cêntimos por tonelada.

A empresa pode recorrer a um turno mensal extraordinário que lhe permite produzir (adicionalmente) 6.000 toneladas por mês, a um custo de 75 cêntimos por tonelada.

Para fazer face à irregularidade da procura, a empresa pode produzir mensalmente mais do que o necessário, colocando o excedente num armazém, com capacidade máxima de 3.000 toneladas. Neste caso, deverá suportar um custo de armazenagem de 25 cêntimos por tonelada.

Qual deverá ser o plano de produção de forma a minimizar o custo?

Problema de Transportes:

A IGEL SA é a empresa que fabrica o JAGOL. O mercado nacional é abastecido a partir de dois depósitos, um em Lisboa e outro no Porto. O “stock” actual de JAGOL nos depósitos de Lisboa e do Porto é de 40 e de 60 toneladas, respectivamente.

No início da próxima semana a empresa terá que fornecer JAGOL a três clientes nacionais, A, B e C, em quantidades de 20, 30 e 40 toneladas, respectivamente.

O lucro líquido por tonelada varia conforme o depósito de origem e o cliente destino, de acordo com o seguinte quadro (em euros):

	A	B	C
Lisboa	100	250	150
Porto	250	300	350

A IGEL pretende definir o plano de entregas, para a próxima semana, sabendo que não estão previstos para os dois depósitos recebimentos da fábrica até ao final da próxima semana.

Problema de Gestão de Filas de Espera:

Um porto que recebe navios graneleiros tem uma única estação de descarga móvel que permite descarregar, em média, 5 navios por dia. O porto tem um cais que permite a acostagem de apenas 2 navios, pelo que, quando o cais está ocupado, navios adicionais que pretendam acostar são desviados para outro porto, acarretando um custo de 100.000€ por navio deslocado. A imobilização de navios no porto tem um custo de 60.000€ por dia e navio.

As chegadas de navios podem ser consideradas Poissonianas, com taxa de 3 navios por dia, sendo os tempos de descarga Exponenciais Negativos.

Pretende-se avaliar a viabilidade económica de ampliar o cais de modo a poder receber 3 navios, ampliação essa a que corresponde um encargo adicional de 5.000€ por dia.

Pela análise dos problemas anteriormente apresentados, levanta-se a questão sobre o que caracteriza os problemas que podem ser abordados pela IO. Simplificadamente, devem existir as seguintes condições:

- 1º. O problema deve pertencer a um indivíduo, o **decisor**, isto é, aquele que tem de tomar a decisão.
- 2º. Um resultado que o decisor pretenderá atingir, o **objectivo** do problema.
- 3º. Pelo menos duas acções possíveis, as **alternativas**, que permitem atingir, com alguma probabilidade, o objectivo definido.
- 4º. Um estado de **indecisão** na mente do decisor sobre qual das alternativas é a melhor.

- 5°. Um **ambiente** no qual se integram os pontos de 1 a 4 e que influencia a decisão.

Neste contexto, resolver um problema consiste em escolher uma das alternativas. A escolha dependerá do objectivo, do conjunto de alternativas, do critério de escolha e de factores identificativos do ambiente de decisão. Assim, a IO como método de resolução de problemas consiste num processo de escolha, que inclui as actividades que permitem estabelecer o conjunto a partir do qual a escolha será feita, e a análise da situação, que permite uma escolha fundamentada, proporcionando informação prática sobre o motivo da escolha.

Alerte-se para o facto de que:

- 1°. Se um dos cinco elementos, anteriormente referidos, faltar o processo de resolução do problema torna-se desnecessário.
- 2°. O conjunto dos cinco elementos constitui a formulação mais simples do problema. Por exemplo, se em vez de um único decisor existir um conjunto de decisores então o problema fica mais complicado na medida em que o número de objectivos e os critérios de escolha podem aumentar, tornando a escolha mais difícil devido a possíveis conflitos de interesse no grupo. O conjunto das alternativas pode ser tão vasto, que a escolha se torne mais complexa.
- 3°. O decisor e a pessoa que resolve o problema podem ser ou não diferentes. O caso mais usual e, talvez, o mais aconselhado, é que os papéis sejam desempenhados por pessoas diferentes.

4. Metodologia da IO

Quando se utiliza a IO para resolver um problema devem ser seguidas as fases seguintes:

Fase 1 - Formulação do problema: O analista deve primeiramente definir o problema. A definição inclui a especificação dos objectivos do estudo, a identificação das alternativas de decisão e o reconhecimento das limitações, restrições e exigências do sistema.

Fase 2 - Observação do sistema: O analísta recolhe os dados para estimar os valores dos parâmetros que afectam o problema formulado.

Fase 3 - Construção do modelo para o problema: O analista desenvolve uma representação idealizada e simplificada da realidade. Dependendo da definição do problema, deve ser escolhido o modelo mais eficaz para efectuar a representação do sistema. O modelo pode ser matemático ou de simulação. O modelo matemático é constituído pelas variáveis de decisão, os parâmetros, as restrições e as funções objectivo, elementos essenciais para a sua construção. Pressupõe que todas as variáveis relevantes são quantificáveis, utiliza símbolos matemáticos para as representar, relacionando-as através de funções matemáticas. Estes modelos pretendem determinar a melhor solução, a solução óptima. Contudo, a formulação matemática pode ser tão complicada que inviabilize a determinação dessa solução, por requerer um tempo de cálculo demasiado longo, ou até, impossibilite a sua determinação. Para estes casos aparecem as heurísticas ou métodos aproximados que, baseados muitas vezes em raciocínios empíricos, permitem a obtenção de boas soluções para os problemas, quer em termos de aproximação quer em termos de custo. Os modelos de simulação tentam imitar o comportamento do sistema através de relações lógico-matemáticas susceptíveis de serem traduzidas num programa implementável em computador. O modelo permite representar a evolução do sistema ao longo do tempo sem ser necessário conhecer a relação analítica directa entre as variáveis de decisão e a medida de desempenho do sistema. A evolução depende da solução adoptada. A simulação permite ultrapassar as limitações existentes nos modelos matemáticos, contudo, como principal inconveniente tem a impossibilidade de garantir a obtenção da solução óptima, pois apenas é possível ensair um número finito de soluções alternativas.

Fase 4 - Obtenção de uma solução. No caso dos modelos matemáticos o analísta aplica técnicas de optimização bem definidas, que permitem obter uma solução óptima. Se os modelos matemáticos não permitirem a obtenção dessa solução ou se forem usados modelos de simulação o analista deve obter um conjunto de soluções aproximadas. Dado o modelo e o conjunto de alternativas, o analísta deve escolher a alternativa, se existir, que melhor permite atingir os objectivos da organização.

Fase 5 - Validação do modelo: O analista verifica se o modelo matemático desenvolvido é uma representação precisa da realidade, testando os valores pré-assumidos para os parâmetros. Um método comum consiste em comparar resultados do modelo com dados reais do sistema observados no passado. Se os resultados não forem “bons” deve-se voltar aos passos 2 ou 3 e desenvolver um novo modelo que melhor represente a situação real. Mesmo quando se obtêm “bons” resultados é necessário que se verifique se não o são apenas numa situação particular do sistema.

Passo 6 - Apresentação dos resultados e conclusões do estudo: O analista apresenta, aos decisores, o modelo e recomendações obtidas nos passos 4 e 5. Se existirem soluções alternativas os gestores devem escolher a que mais convem à organização. Poderá também acontecer que organização não aceite as recomendações. Esta situação poderá resultar de definições incorretas do problema ou da falta de envolvimento do decisor no projecto. Neste caso, o analista deverá regressar aos passos 1, 2 ou 3.

Passo 7 - Implementação e avaliação das recomendações: Se a organização aceitou o estudo, o analista deverá ajudar na implementação do projecto. O sistema deverá ser constantemente monitorizado e adaptado de forma dinâmica à medida que o ambiente sofrer alterações, de modo a assegurar que os objectivos sejam atingidos.