

---

# CAPÍTULO 7

## Conclusões e Desenvolvimentos futuros

---

### 1. Conclusões

Muitos dos problemas reais que podem ser modelados através do recurso à teoria de optimização em redes, são de natureza multiobjectivo. Os objectivos geralmente envolvidos nestes problemas são os seguintes : custo, tempo, distância, acessibilidade, satisfação exigida, protecção do ambiente, minimização do risco, segurança, entre outros.

Na resolução de problemas com apenas um objectivo, procura-se encontrar a solução óptima, ou seja, a solução admissível que optimize a função objectivo, cujo valor é único.

Na resolução de problemas multiobjectivo, esse conceito não se aplica, uma vez que uma solução admissível que optimize um dos objectivos, não otimiza, em geral, os restantes objectivos, quando estes estão em conflito. Desta forma, a noção de solução óptima é substituída pela noção de solução não dominada, e o resultado pretendido é a determinação de uma solução de compromisso satisfatória entre o universo das soluções não dominadas.

De uma maneira geral, são de três tipos os métodos para resolver problemas de programação multiobjectivo (em particular os problemas de caminho mais curto), conforme as preferências do AD são introduzidas *a priori*, *a posteriori* ou *progressivamente*, no processo de decisão.

Nos métodos em que é feita uma agregação *a priori* das preferências do AD, o problema inicial é transformado num problema com um único objectivo, através, por exemplo, da construção de uma função utilidade, agregando os objectivos envolvidos a partir das preferências do AD. Desta forma, a solução óptima deste último problema é a solução do

---

problema multiobjectivo original. No entanto, a grande dificuldade está na construção da função utilidade, uma vez que é difícil obter os parâmetros que agreguem, numa única dimensão todos os objectivos envolvidos.

Nos métodos em que as preferências do AD são incorporadas *a posteriori*, determinam-se inicialmente todas as soluções não dominadas do problema, ou parte delas, as quais são posteriormente apresentadas ao AD para que este proceda à sua selecção. Apesar de existirem algoritmos que permitem, com maior ou menor esforço computacional, determinar todas as soluções não dominadas de vários tipos de problemas multiobjectivo, torna-se complicado escolher uma solução no conjunto das soluções não dominadas, que pode ser muito vasto, e onde muitas vezes as soluções possuem características muito semelhantes.

Os métodos em que as preferências do AD são incorporadas *progressivamente* são designados métodos interactivos. Em geral, determinam um pequeno número de soluções não dominadas (fase de cálculo), e depois o AD é chamado a indicar as suas preferências (fase de diálogo), de forma a utilizarem esta informação para gerar novas soluções não dominadas. Normalmente este processo é repetido até se obter uma solução satisfatória para o AD. Estes métodos revelam-se mais eficazes na procura de uma solução de compromisso satisfatória, uma vez que ao aproveitarem a intervenção do AD reduzem a zona de pesquisa, minimizando assim quer o esforço computacional, quer o esforço do AD no processamento da informação. Para tirar partido das capacidades de processamento de informação do AD, devem utilizar-se gráficos e meios de interacção adequados, de forma a ajudar o AD a analisar os compromissos entre os objectivos, que são inerentes às várias soluções.

Com este trabalho pretende-se apresentar uma abordagem ao problema de caminho mais curto bi e tri-objectivo, em redes orientadas e não orientadas. Esta abordagem foi implementada no quadro operacional de sistemas de apoio à decisão, os quais servem para ajudar o AD (utilizador) a identificar a “melhor” solução de compromisso, de acordo com as suas preferências.

Nos sistemas referidos foram desenvolvidos meios gráficos adequados quer à interpretação dos resultados (soluções) que vão sendo obtidos, quer ao diálogo com o AD, tendo como preocupação tornar os sistemas fáceis de compreender e de utilizar.

Relativamente à aplicação da abordagem algorítmica ao problema de encaminhamento em redes integradas de comunicações, conclui-se que é vantajoso considerar uma abordagem multiobjectivo na modelação deste problema, uma vez que desta forma é possível compreender os compromissos entre as diferentes QoS. Desta forma, os modelos tornam-se

mais realistas, assumindo a natureza multiobjectivo do problema, permitindo assim compreender os conflitos inerentes e os compromissos entre os diferentes objectivos, para seleccionar a “melhor” solução de compromisso do conjunto das soluções não dominadas.

## 2. Desenvolvimentos futuros

Com o desenvolvimento dos algoritmos para determinar os  $k$  caminhos mais curtos, os métodos existentes para resolver problemas de caminho mais curto com dois objectivos, que utilizam este processo na identificação de soluções não dominadas nas Zonas de Desníveis de Dualidade, já são suficientemente eficientes e rápidos, até porque os gráficos utilizados para apresentarem os compromissos entre os dois objectivos associados às soluções identificadas revelam relativamente bem esses compromissos.

Relativamente a métodos para resolver problemas deste tipo, apesar de já se ter um grau de desenvolvimento muito elevado (existem alguns trabalhos nesta área), qualquer melhoria nos algoritmos utilizados é vista com bons olhos. No que respeita aos interfaces, pode haver introdução de novas tecnologias no diálogo com o agente de decisão, tais como som, multimedia, etc..

No que respeita aos problemas com três e mais objectivos, existem poucos trabalhos nesta área. Apesar de os algoritmos utilizados nos problemas com dois objectivos poderem ser aplicados a este caso, a dificuldade está na determinação das soluções suportadas (que pertencem ao Contorno Convexo), na definição das Zonas de Desníveis de Dualidade, e ainda nos gráficos utilizados para se apresentar os compromissos entre os objectivos, inerentes às soluções não dominadas identificadas.

Relativamente ao cálculo de soluções do Contorno Convexo, pode não ser possível determinar todas as soluções deste tipo, pois pode ser difícil determinar certas combinações de pesos que conduzam ao cálculo de certas soluções do Contorno Convexo. De facto, a técnica de tomar três soluções deste tipo adjacentes pode não garantir a obtenção de uma solução não dominada, quando uma das componentes do gradiente formado a partir daquelas três soluções é negativa. Portanto, esta questão terá que ultrapassada em futuras investigações.

Em consequência do que se disse no parágrafo anterior, pode não ser possível determinar todas as Zonas de Desníveis de Dualidade. Por outro lado, podem existir soluções não dominadas que não pertençam a qualquer Zona de Desnível de Dualidade, segundo a

definição utilizada neste trabalho. Também esta questão terá que analisada com mais rigor em futuros desenvolvimentos desta área.

Relativamente aos gráficos utilizados na apresentação das soluções, dever-se-ão procurar formas cada vez mais sugestivas de traduzir os compromissos entre os objectivos, associados às soluções não dominadas identificadas. Portanto, também esta será uma área a considerar em desenvolvimentos futuros.

No que respeita à abordagem proposta para o problema de encaminhamento em redes integradas de comunicações, podem considerar-se duas possibilidades para a sua aplicação.

A primeira está associada à implementação de uma nova variante dum método do tipo Encaminhamento Dependente do Estado Periódico (“Periodic State Dependent Routing” — PSDR) para redes de comutação por circuitos. A versão original deste tipo de método de encaminhamento dinâmico baseia-se num tipo centralizado de controlo que fornece decisões de encaminhamento baseadas em actualizações periódicas do número de circuitos livres em cada linha da rede destino. A variante considerada, baseada numa abordagem multiobjectivo, utilizará uma versão automática do algoritmo para determinar soluções não dominadas correspondentes ao número de caminhos alternativos seleccionados para cada par de nós.

A segunda possibilidade está associada ao encaminhamento de fluxos contínuos (tais como audio e vídeo em redes de comutação por pacotes), onde o problema básico consiste em determinar para cada fluxo um caminho que satisfaça os vários objectivos conflituosos e as várias restrições, os quais foram a motivação original do paradigma do encaminhamento com QoS. Neste contexto, uma versão automática do algoritmo multiobjectivo será, em princípio, aplicada tendo em atenção a extrema eficiência do algoritmo para determinar os  $k$  caminhos mais curtos utilizado no método proposto.

Um outro aspecto a considerar em desenvolvimentos futuros é a possibilidade destas abordagens serem testadas com redes reais, uma vez que os testes aqui efectuados apenas utilizaram exemplos puramente académicos.