



FEUC FACULDADE DE ECONOMIA
UNIVERSIDADE DE COIMBRA

Joana Rita Silva Fialho

AVALIAÇÃO DE PROJETOS DE INVESTIGAÇÃO E DESENVOLVIMENTO NA ÁREA DE TELECOMUNICAÇÕES

Dissertação de Doutoramento apresentada à Faculdade de Economia da Universidade de Coimbra, para a
obtenção de grau de Doutor em Gestão – Ciência Aplicada à Decisão

Orientadores:

Professor Doutor Pedro Manuel Cortesão Godinho

Professor Doutor João Paulo Faria Oliveira Costa

Coimbra, 2013

Dissertação de Doutoramento apresentada à Faculdade de Economia da
Universidade de Coimbra, para obtenção do grau de Doutor em Gestão - Ciência
Aplicada à Decisão, sob orientação do Professor Doutor Pedro Manuel Cortesão
Godinho e do Professor Doutor João Paulo Faria Oliveira Costa.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos os que contribuíram para a realização do trabalho, mas em especial:

- Aos meus orientadores, Professor Pedro Godinho e Professor João Paulo Costa, por todo o conhecimento que me transmitiram, e pelo tempo e paciência despendidos;
- À PT Inovação, que foi a empresa que serviu de base para este trabalho e que apoiou o projeto AVALORE, realizado na própria empresa. Em particular, ao Ricardo Afonso e ao José Gonçalo Regalado, que contribuíram ativa e diretamente para uma das partes do trabalho;
- À Fundação para a Ciência e Tecnologia, que me apoiou diretamente através da bolsa de referência SFRH / BD / 41157 / 2007;
- Ao INESCC, que me recebeu como investigadora e serviu de suporte ao projeto AVALORE realizado na PT Inovação;
- Aos meus colegas da área científica de Matemática da ESTGV, mas em especial ao Márcio e à Paula que me acompanharam desde o início;
- Ao Tiago, por tudo o que é e representa, e em particular pelas leituras e ajudas na tradução;
- Aos meus pais e irmã, que são a minha estrutura e o meu apoio incondicional.

RESUMO

Uma correta avaliação de projetos de investigação e desenvolvimento (I&D) permite que as empresas possam selecionar e/ou priorizar os projetos que melhor satisfaçam os seus objetivos. Para além disso, muitas empresas deparam-se com limitações de recursos, especialmente os humanos. Uma ferramenta que ajude os gestores a encontrarem a melhor estratégia para alocar os recursos é muito importante para a conclusão dos projetos de forma eficiente e sem desperdícios.

Este trabalho apresenta duas ferramentas que ajudam a avaliar projetos de I&D, tendo como base a estrutura e política de uma empresa específica: a PT Inovação. A avaliação deste tipo de projetos (e outros) depende, também, dessa estrutura e política, pois os pressupostos admitidos por umas empresas podem não o ser noutras. De acordo, então, com a empresa, construiu-se uma primeira abordagem de avaliação baseada em múltiplos critérios, dispostos numa estrutura hierárquica: abordagem hierárquica. Seguidamente, outra abordagem foi construída, tendo em conta apenas o critério financeiro e baseada na teoria das opções reais: abordagem estocástica. Note-se que a informação necessária para a utilização da abordagem hierárquica é mais fácil de obter do que a requerida pela abordagem estocástica.

Os projetos de I&D da PT Inovação podem ser muito diferentes entre si e, em geral, são desagregados em ações, cuja estrutura e objetivos podem ser muito específicos. Devido a esta variedade, os projetos e ações são diferenciados por tipos. Esta diferenciação leva a que, na abordagem hierárquica, os critérios tenham diferentes pesos, mediante o tipo de projeto ou o tipo de ação que se está a considerar. O processo de avaliação desta abordagem baseia-se no AHP (*analytic hierarchy process*), sendo que algumas das suas limitações tiveram que ser ultrapassadas, nomeadamente a dificuldade em estabelecer algumas comparações, o grande número de comparações que podem ser requeridas pelo método, e o tratamento de critérios que utilizem valores financeiros. O resultado da abordagem hierárquica permite priorizar e/ou selecionar projetos ou ações. São ainda sugeridas formas de, perante o resultado dessa avaliação, afetar os recursos disponíveis pelas diferentes ações consideradas no processo de avaliação.

A abordagem estocástica parte do pressuposto inicial que as ações são compostas por um conjunto de tarefas (parcelas) homogéneas. Essas tarefas são avaliadas, ao mesmo tempo que é definida a melhor estratégia para a sua execução: mediante os níveis de recursos disponíveis, são definidas regras que ajudam a decidir sobre o nível de recursos a utilizar em cada instante, de acordo com a maximização de um valor financeiro que caracteriza a tarefa. Considera-se que o tempo de execução de uma tarefa e os *cash flows* esperados têm comportamento estocástico. Os custos são fixos, por unidade de tempo e, tal como o tempo de execução, dependem do nível de recursos utilizado. O processo de avaliação baseia-se na teoria das opções reais e no processo de simulação *least squares* Monte Carlo (LSM), com algumas adaptações, já que se considera o tempo de execução estocástico, e não determinista.

ABSTRACT

A correct evaluation of research and development (R&D) projects allows companies to select and/or prioritize the projects that best meet their goals. Moreover, many companies are faced with limited resources, especially human resources. A tool that helps managers to find the best strategy to allocate resources is very important to complete projects efficiently and without waste.

This paper presents two tools that help evaluate R&D projects, based on the structure and policies of a specific company: PT Inovação. The evaluation of such projects (and others) also depends on this structure and policy because the assumptions that hold in some companies may not hold in others. According, then, to the policies of this company a first assessment approach based on multiple criteria was built, arranged in a hierarchical structure: a hierarchical approach. Subsequently, another approach was built, taking into account only the financial criteria based on the theory of real options: a stochastic approach. Note that the information needed for the use of the hierarchical approach is easier to obtain than that required by the stochastic approach.

The R&D projects of PT Inovação can be very different among each other and, in general, are disaggregated into actions with specific structures and goals. Because of this variety, projects and actions are differentiated by type. This leads to, in the hierarchical approach, the criteria having different weights, depending on the type of project and the type of action considered. The evaluation of this approach is based on AHP (analytic hierarchy process), and some of its limitations had to be overcome, including the difficulty in establishing some comparisons, the large number of comparisons that may be required by the method, and the treatment of criteria that use financial values. The result of the hierarchical approach allows us to prioritize and /or select projects or actions. Other ways of affecting the available resources for different actions considered in the evaluation process are suggested, depending on the result of said evaluation.

The stochastic approach assumes that the actions are composed of a set of homogeneous tasks (parts). These tasks are evaluated, while the best strategy is set for their completion: depending on the levels of available resources, rules are defined to help deciding about the level of resources to be used at each instant, according to the maximization of a financial value that characterizes the task. It is considered that the execution time of a task and the expected cash flows have a stochastic behavior. Costs are fixed *per* time unit and, as the execution time, dependent on the level of resources used. The evaluation process is based on the real options theory and on the simulation process of least squares Monte Carlo (LSM), with some adaptations, since the time to execute the task is considered stochastic, not deterministic.

ÍNDICE

LISTA DE FIGURAS	XIX
LISTA DE TABELAS.....	XXI
NOTAÇÃO	XXV
1. INTRODUÇÃO	3
1.1 ABORDAGEM HIERÁRQUICA DE AVALIAÇÃO	7
1.2 ABORDAGEM ESTOCÁSTICA DE AVALIAÇÃO	8
1.3 UTILIZAÇÃO DAS ABORDAGENS HIERÁRQUICA E ESTOCÁSTICA DE AVALIAÇÃO	10
1.4 CONTRIBUIÇÃO DA DISSERTAÇÃO.....	12
1.5 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO.....	14
2. AVALIAÇÃO DE PROJETOS DE I&D.....	19
2.1 INTRODUÇÃO	19
2.2 CARACTERIZAÇÃO DOS PROJETOS DE I&D	19
2.3 OPÇÕES REAIS E AVALIAÇÃO DE PROJETOS DE I&D	21
2.3.1 <i>Abordagem clássica de avaliação</i>	21
2.3.2 <i>Conceitos relativos a opções reais</i>	24
2.3.3 <i>A flexibilidade operacional</i>	28
2.3.4 <i>Modelação do risco em projetos de I&D</i>	33
2.3.5 <i>Abordagens de avaliação</i>	37
2.3.5.1 Método de simulação least squares Monte Carlo – LSM.....	42
2.3.6 <i>Modelos de avaliação</i>	44
2.3.7 <i>Modelos de avaliação de I&D usando simulação LSM</i>	46
2.4 OUTRAS FORMAS DE AVALIAÇÃO E SELEÇÃO DE PROJETOS DE I&D	50
2.4.1 <i>Modelos de avaliação de projetos de I&D</i>	52
2.4.1.1 Modelos de scoring	52
2.4.1.2 DEA.....	54
2.4.1.3 Método AHP (Analytic Hierarchy Process)	54
2.4.1.4 Método ANP - Analytic Network Process.....	55
2.4.1.5 Teoria da utilidade multiatributo (MAUT).....	56
2.4.1.6 Outros modelos de avaliação em I&D.....	57
2.4.2 <i>Outras abordagens de avaliação de projetos de I&D</i>	58
2.4.2.1 Sistemas de apoio à decisão organizacional	58

2.4.2.2	Modelos Interativos	58
2.4.2.3	Alocação de recursos em I&D	59
2.5	SÍNTESE DO CAPÍTULO.....	60
3.	ABORDAGEM HIERÁRQUICA PARA AVALIAR PROJETOS DE I&D NA ÁREA DE TELECOMUNICAÇÕES	65
3.1	INTRODUÇÃO	65
3.2	ENQUADRAMENTO DA ABORDAGEM HIERÁRQUICA DE AVALIAÇÃO NA EMPRESA	66
3.3	ESTRUTURA E DESENVOLVIMENTO DA SOLUÇÃO PROPOSTA	70
3.3.1	<i>A estrutura da solução proposta</i>	<i>71</i>
3.3.2	<i>O método AHP.....</i>	<i>77</i>
3.3.2.1	Alteração da ordem das alternativas.....	83
3.3.2.2	A escolha e utilização das escalas no AHP	85
3.3.2.3	Derivação do vetor das prioridades/pesos	87
3.3.3	<i>Dimensão da matriz de comparações (número de critérios/alternativas a comparar)</i>	<i>89</i>
3.3.4	<i>Combinação de critérios tangíveis e intangíveis no AHP</i>	<i>92</i>
3.3.4.1	Tratamento de critérios financeiros tangíveis	94
3.3.5	<i>Alocação dos recursos às ações de cada agregado.....</i>	<i>97</i>
3.4	UTILIZAÇÃO DA SOLUÇÃO PROPOSTA.....	99
3.5	EXEMPLO DE APLICAÇÃO	102
3.6	CONCLUSÕES DO CAPÍTULO	106
4.	ABORDAGEM ESTOCÁSTICA PARA AVALIAÇÃO DE TAREFAS DE I&D.....	111
4.1	INTRODUÇÃO E ENQUADRAMENTO.....	111
4.2	CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE A ABORDAGEM ESTOCÁSTICA DE AVALIAÇÃO DE TAREFAS DE I&D	113
4.3	O MODELO PARA A AVALIAÇÃO DE TAREFAS DE I&D	116
4.3.1	<i>Tempo para completar uma tarefa</i>	<i>116</i>
4.3.2	<i>Os custos.....</i>	<i>117</i>
4.3.3	<i>A estimativa CF da tarefa.....</i>	<i>120</i>
4.3.4	<i>O valor atual líquido da tarefa.....</i>	<i>122</i>
4.4	PROCEDIMENTO PARA AVALIAR TAREFAS DE I&D	122
4.5	ALGORITMO DO PROCEDIMENTO DE AVALIAÇÃO	127
4.6	IMPLEMENTAÇÃO.....	130
4.7	EXEMPLOS NUMÉRICOS.....	131
4.8	INTERPRETAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	142

4.9	DESEMPENHO DO ALGORITMO IMPLEMENTADO	143
4.10	UTILIZAÇÃO DOS RESULTADOS	147
4.11	CONCLUSÕES DO CAPÍTULO	148
5.	CONCLUSÕES E TRABALHO FUTURO.....	153
6.	REFERÊNCIAS.....	161

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 - Estrutura da hierarquia proposta para os agregados	74
Figura 3.2 - Estrutura da hierarquia proposta para as ações	76
Figura 3.3 – Exemplo de uma estrutura hierárquica para a escolha do melhor projeto	77
Figura 4.1- Estimativa CF instantânea <i>versus</i> tempo	121
Figura 4.2 - O processo desenvolve-se desde a última unidade até à primeira	123
Figura 4.3 - Funções construídas na última unidade de trabalho	124
Figura 4.4 - Funções que permitem a definição da melhor estratégia desde a unidade $j+1$ até à última unidade D	125
Figura 4.5 - Funções de regressão, explicando o valor da tarefa em ordem ao tempo decorrido e à estimativa CF instantânea.....	126
Figura 4.6 - Percentagem de caminhos que escolhem cada nível de recursos, ao longo da tarefa, depois de aplicado o processo de avaliação.....	133
Figura 4.7 - Percentagem de caminhos que escolhem cada nível de recursos, ao longo da tarefa, depois de aplicado o processo de avaliação.....	135
Figura 4.8 - Efeito do tempo decorrido no valor atual líquido da tarefa	136
Figura 4.9 - Efeito da estimativa CF instantânea no valor atual líquido da tarefa	136
Figura 4.10 - Estratégia para a unidade 8, quando o nível 1 é usado na unidade 7.....	137
Figura 4.11 - Estratégia para a unidade 8, quando o nível 2 é usado na unidade 7.....	138
Figura 4.12 – Percentagem de caminhos que escolheram cada um dos níveis de recurso, depois de aplicado o procedimento de avaliação	139
Figura 4.13 - Estratégia para a unidade 13, quando o nível 1 é usado na unidade 12.....	140
Figura 4.14 - Estratégia para a unidade 13, quando o nível 2 é usado na unidade 12.....	140

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 – Critérios e subcritérios na hierarquia dos agregados	71
Tabela 3.2 – Critérios e subcritérios na hierarquia das ações.....	75
Tabela 3.3 – Escala proposta por Saaty (2008).....	78
Tabela 3.4 – Prioridades dos agregados nos diferentes subcritérios	104
Tabela 3.5 – Quantidades necessárias de recursos e prioridades das ações	105
Tabela 4.1 – Parâmetros de entrada para o primeiro teste.....	132
Tabela 4.2 – Parâmetros de entrada para o procedimento de avaliação	133
Tabela 4.3 – Valor atual líquido da tarefa considerando a existência ou não de penalização na estimativa CF da tarefa e/ou custos de mudança de nível.....	141
Tabela 4.4 – Valor atual líquido da tarefa considerando alterações nos parâmetros do nível 2 de recursos	142
Tabela 4.5 – Tempos de execução do procedimento de avaliação.....	144
Tabela 4.6 – Tempos médios de execução e valores da tarefa para diferentes números de caminhos.	146

NOTAÇÃO

1. NOTAÇÃO COM ALFABETO LATINO

A - Matriz de comparações entre critérios/alternativas

a_{ij} - elemento da linha i , coluna j , de uma matriz A de comparações

Ac_i - Ação de índice i

$b_0, b_1, b_2, b_3, b_4, b_5$ - Coeficientes da função de regressão

$best$ - Nível de recursos que origina um maior valor atual líquido médio para a tarefa

Cf_t - *Cash flow* esperado no instante t

$C_x^{(k)}$ - Custo instantâneo, no instante x , usando nível de recursos k

$C_0^{(k)}$ - Constante/parâmetro de entrada no modelo dos custos, relativo ao nível de recursos k

$\bar{C}_j^{(k)}$ - Custo da unidade de trabalho j , usando o nível de recursos k

$C_{j,x_0}^{(k)}$ - Custo da unidade de trabalho j , usando o nível de recursos k , atualizado ao instante x_0

CI - Índice de coerência numa matriz de comparações

CR - Rácio de coerência numa matriz de comparações

D - Número de unidades de trabalho

dq - Incremento de um processo de Poisson

dx - Intervalo infinitesimal de tempo

Es - Número de estratégias iniciais no processo de simulação

$es(k_j)$ - Melhor estratégia, desde a unidade de trabalho $j+1$ até à última, usando o nível de recursos k_j na unidade j

$F_{j,k}(\cdot)$ - Função de regressão para a unidade de trabalho j , usando o nível de recursos k , e que representa $V|k_j$

G - Vetor das prioridades globais do conjunto dos agregados/ações em avaliação

$g(x)$ - Penalização da estimativa CF, em função do tempo x

H - Matriz auxiliar para matrizes incompletas de comparações

h_{ij} - elemento da linha i , coluna j da matriz H

I - Investimento inicial

k_j - Nível de recursos utilizado na unidade de trabalho j

$M^{(k)}$ - Tempo mínimo para finalizar uma tarefa, usando o nível de recursos k

N - Número de níveis de recursos

n - Dimensão da matriz/número de critérios em comparação/número de alternativas em comparação

$ncam$ - Número de caminhos na execução do procedimento de avaliação da abordagem estocástica

$ncrit$ - Número de critérios

np - Número de períodos

ns_j - Número de subcritérios referente ao critério de índice j

NT - Número de tipos de recurso

P - Preferência

p' e p - Vetores próprios

Po - Distribuição de Poisson

Q - Quantidade total de recursos

Q_j - Quantidade total do nível de recursos j

q_i - Quantidade para o nível de recursos i

R - Estimativa CF instantânea

R_x - Estimativa CF instantânea, no instante x

RI - Índice de coerência aleatório

r - Taxa de atualização

T - Momento de finalização de uma tarefa

$T^{(k)}$ - Tempo necessário para finalizar uma tarefa, usando apenas o nível de recursos k

$t_i^{(k)}$ - Valor obtido, a partir de uma função exponencial

$\hat{t}_i^{(k)}$ - Tempo que demora a unidade de trabalho i a ser finalizada, usando o nível de recursos k

$TotC(j, x_j)$ - Custos totais desde a unidade de trabalho j até à última unidade, D , atualizados ao instante x_j

U - Distribuição uniforme

u - Valor obtido a partir de uma distribuição uniforme, no intervalo $[u_{\min}, u_{\max}]$

u_{\min}, u_{\max} - Parâmetros da distribuição uniforme

$V|k_j$ - Valor atual líquido da tarefa no início da unidade de trabalho j , quando se usa o nível de recursos k_j nessa unidade, e o melhor nível de recursos nas unidades seguintes

Val - Valor atual líquido

$Val(j, x_j)$ - Valor atual líquido da tarefa no início da unidade de trabalho j

$ValF(k_1)$ - Valor atual líquido médio da tarefa no início da unidade de trabalho 1, usando o nível de recursos k_1

W - Vetor dos pesos/prioridades retirado a partir de uma matriz de comparações

W_j - Peso/prioridade do elemento j do vetor W

W_{ij} - Peso do subcritério i , relativo ao critério j

W_{ijl} - Prioridade da alternativa l , no subcritério i , relativo ao critério j

x_j - Instante em que se inicializa a unidade de trabalho j

$Y_{1,j}$ - Variável que representa o tempo decorrido, na função de regressão, até ao início da unidade de trabalho j

$Y_{2,j}$ - Variável que representa a estimativa CF instantânea, na função de regressão, no momento que inicia a unidade de trabalho j .

z_i - Variável dicotómica

2. NOTAÇÃO COM ALFABETO GREGO

α - Taxa de crescimento/decrescimento de R em cada intervalo infinitesimal

$\gamma(k_j, k_{j+1})$ - Custo para mudar de um nível de recursos k_j , utilizado na unidade de trabalho j , para outro nível de recursos k_{j+1} , utilizado na unidade de trabalho $j + 1$

Δq - Somatório de valores oriundos de uma distribuição uniforme

ρ - Taxa de crescimento dos custos

λ_{\max} - Valor próprio máximo

$\mu^{(k)}$ - parâmetro da distribuição exponencial $t_i^{(k)}$

π - Probabilidade associada a dq

ν - Valor oriundo de uma distribuição de Poisson de parâmetro π

Capítulo 1

INTRODUÇÃO



1. INTRODUÇÃO

Os projetos de investigação e desenvolvimento (I&D) são fundamentais para o progresso e competitividade de empresas de vários setores. A investigação e desenvolvimento permitem às empresas aumentar o conhecimento, através de trabalho criativo, e permitem, também, utilizá-lo no desenvolvimento de novas aplicações e/ou produtos. Exemplos destes projetos são o desenvolvimento de novos produtos tecnológicos.

As atividades de I&D têm o objetivo de criar novo conhecimento, isto é, de inovar. Esta inovação encontra-se na resolução de incertezas a nível tecnológico e/ou científico relativamente a um problema, cuja solução não era óbvia perante as ferramentas e conhecimento obtidos até então (Djellal *et al.*, 2003). Um projeto de I&D distingue-se de outras atividades devido, por exemplo, à natureza dos seus objetivos, ao tipo de pessoas alocadas a esse projeto, ao tipo de financiamento, ou ao grau de generalidade nas conclusões ou resultados obtidos (Djellal *et al.*, 2003).

Os projetos de I&D estão sujeitos a vários fatores de incerteza que podem influenciar os resultados esperados. Estes fatores podem ter variadas naturezas e a sua influência, num projeto, pode ser positiva ou negativa. A natureza destes fatores pode ser tecnológica, financeira, social, política, etc. Assim, e tendo em conta a incerteza, é necessário perceber se vale a pena investir num projeto e, em caso de resposta afirmativa, quando e de que forma se o deve fazer. Torna-se, pois, necessário encontrar ferramentas que possibilitem a avaliação de projetos de I&D e que auxiliem na resposta a estas questões. Se se estiver a tratar de um conjunto de projetos numa empresa, esta avaliação é fundamental para perceber que projetos se devem iniciar ou que recursos se devem alocar a cada projeto. Por outro lado, se se estiver a falar num projeto singular, deve perceber-se que recursos se devem alocar a esse projeto e de que forma.

A avaliação de projetos de I&D é difícil, devido a todos os fatores de incerteza e, possivelmente, a acontecimentos que podem ocorrer, de forma inesperada. As medidas de avaliação tradicionais são, em geral, financeiras, e estão mais vocacionadas para situações (leia-se projetos) em que se consegue determinar, antecipadamente e com algum rigor, o valor dos custos e dos benefícios. Em projetos de I&D, o valor destes custos e benefícios pode depender da forma como se reage perante eventos inesperados, isto é, o plano de ação delineado inicialmente pode ter que ser modificado, ao longo da vida de um projeto, devido à ocorrência deste tipo de acontecimentos. A alteração do plano inicial de ação, devido à ocorrência de determinados eventos não previstos, caracteriza a flexibilidade operacional dos projetos de I&D. A avaliação deste tipo de projetos deve, assim, ter em conta a flexibilidade operacional, ou seja, deve ter em conta as possíveis ações que os agentes de decisão podem empreender, se determinados acontecimentos ocorrerem. Para a avaliação ser o mais correta

possível, deve ter-se em conta todas as opções que vão aparecendo ao longo da vida de um projeto. Mesmo assim, e por mais abrangente que seja a avaliação, podem ocorrer eventos não previstos, e, se assim for, o plano de ação deve ser revisto, já que, devido a esses eventos, novas opções podem surgir para o projeto. Logo, os métodos clássicos de avaliação de projetos não se adequam a projetos de I&D, nomeadamente, porque não têm em conta nem o valor que o projeto pode ganhar com a flexibilidade operacional que lhe é intrínseca, nem a totalidade das fontes de incerteza a que pode estar sujeito.

O valor de um investimento em I&D é determinado, não só tendo em conta os custos e benefícios previstos no investimento inicial, mas também considerando as oportunidades futuras de investimento (Schwartz e Zozaya-Gorostiza, 2000). Esta característica dos projetos de I&D leva, muitas vezes, à sua estruturação em diferentes fases para melhor se proceder à sua avaliação. No entanto, a sua avaliação pode, ainda, ser difícil. Esta dificuldade prende-se, por exemplo, ao facto de informações necessárias à avaliação só estarem disponíveis ao longo da vida do projecto. Assim, pode acontecer não haver estimativas precisas para os custos e benefícios futuros, que poderiam permitir tomar a decisão de iniciar ou não o projeto. Apesar disto, é necessário tomar essa decisão, e se a decisão for de iniciar, é preciso decidir sobre quando e de que forma se o vai fazer. Muitas vezes, pode optar-se por esperar e tentar obter mais e melhor informação, já que muita informação pode estar disponível apenas após a data de início do projeto.

Os projetos de inovação, investigação e desenvolvimento promovem o crescimento e o sucesso de uma empresa. É, pois, fundamental avaliar corretamente estes projetos para que as empresas possam estabelecer quais os que devem realizar e qual a quantidade de recursos a utilizar. Existem, na literatura, diferentes métodos e modelos de avaliação de projetos de I&D. A avaliação depende da informação disponibilizada e, quando não existe informação quantitativa rigorosa, pode recorrer-se a fatores qualitativos, muitas vezes fornecidos por especialistas e gestores (Carlsson *et al.* 2007). A avaliação de projetos de I&D depende, pois, do tipo de informação disponibilizada, à partida, e da que se vai obtendo ao longo do tempo de vida do projeto. No caso da informação disponível ser quantitativa e de natureza económica, podem aplicar-se métodos económicos ou outros que se adequem ao tipo de informação disponibilizada ou que se pode vir a conhecer. No caso da informação disponível ser qualitativa ou inferida a partir de fatores qualitativos, é necessário aplicar outro tipo de métodos que consiga analisar e avaliar os projetos, partindo desse tipo de informação. Pode também acontecer que a avaliação dos projetos seja feita recorrendo, simultaneamente, a fatores qualitativos e quantitativos.

Neste trabalho pretende-se apresentar ferramentas para apoiar a avaliação de projetos de I&D e a respetiva alocação de recursos, numa empresa na área de telecomunicações. Estas ferramentas podem ajudar os gestores e responsáveis de projetos a tomar as melhores decisões, mediante o tipo de

informação disponibilizada. As empresas de investigação na área das telecomunicações são, em geral, empresas vocacionadas para o desenvolvimento de novos produtos e serviços. Para estas empresas, é necessário perceber quais os produtos ou serviços que devem ser desenvolvidos e que prioridade têm. Ou seja, torna-se necessário avaliar os projetos de I&D da empresa. Esta avaliação, numa empresa, pode ter diferentes objetivos: seleção de projetos - pode ser necessário, de entre um conjunto de projetos, perceber qual ou quais devem ser iniciados; priorização de projetos – pode ser necessário priorizar os projetos, que estão em curso ou irão decorrer, para perceber quais os projetos que devem ver satisfeitas, em primeiro lugar, as suas necessidades em termos de recursos; alocação de recursos – após a priorização dos projetos, pode ser necessário perceber de que forma se devem alocar os recursos disponíveis. Deste modo, as empresas sentem necessidade de avaliar os potenciais projetos a serem desenvolvidos, de forma a perceber quais são os mais importantes, os que devem ser iniciados e que prioridades têm no momento da distribuição dos recursos existentes.

Neste trabalho, apresentam-se duas ferramentas para avaliar e gerir projetos de I&D numa empresa de telecomunicações - a PT Inovação. A primeira ferramenta permite fazer a avaliação segundo múltiplos critérios, enquanto a segunda permite uma avaliação tendo em conta apenas um critério, que é financeiro.

Os projetos de I&D desta empresa apresentam características específicas, de índole diversa, que devem ser devidamente enquadradas numa abordagem de avaliação, pelo que se entendeu ser desejável definir, de raiz, cada abordagem, em vez de se optar por outras já desenvolvidas. As ferramentas apresentadas têm em conta a estrutura da própria empresa. Em geral, os projetos são estruturados em parcelas denominadas ações que têm um horizonte de planeamento de um ano. Existem tipos diferentes de projetos e de ações e a primeira abordagem de avaliação (hierárquica) pretende avaliar esses projetos e ações. A solução encontrada propõe a comparação dos diversos projetos (ações) disponíveis e, posteriormente, a partir dos resultados obtidos, apoia a alocação dos recursos aos projetos a empreender. Esta solução teve uma primeira apresentação em Afonso *et al.* (2008) e em Fialho *et al.* (2008). Note-se que os recursos mais importantes desta empresa são pessoas com diferentes tipos e níveis de especialidade. A solução preconizada ajuda, portanto, os decisores a definirem a alocação das pessoas aos projetos. Esta solução, abordagem hierárquica de avaliação, é mais qualitativa: a avaliação dos projetos é feita mediante critérios que sirvam o interesse da empresa, desde a gestão de topo até aos responsáveis de projeto. O objetivo de tal avaliação é perceber como se devem alocar os recursos aos projetos e às ações, nomeadamente, os recursos humanos. Assim, na abordagem hierárquica de avaliação, os projetos são avaliados de forma a perceber que recursos se alocam a cada um.

Cada ação de um projeto, que é planeada a um ano, é composta por diversas tarefas. A segunda ferramenta apresentada neste trabalho, denominada abordagem estocástica para avaliação de tarefas de I&D, pretende avaliar e gerir essas tarefas. Supondo que existem diferentes níveis de recursos disponíveis para uma tarefa, é necessário perceber que nível de recursos se deve alocar à tarefa, em cada instante. Deste modo, um segundo objetivo proposto foi a construção de uma abordagem estocástica de avaliação, mais exigente em termos de informação necessária, e baseada na *teoria das opções reais*, que pretende, através de modelos apropriados, definir qual o nível de recursos que deve estar a operar nas tarefas de um projeto, em cada momento. A definição do nível de recursos a utilizar, em cada momento, é feita através da construção da estratégia de execução da tarefa. A estratégia de execução da tarefa é a que origina o maior valor (financeiro) esperado para essa tarefa. Esta abordagem estocástica de avaliação permite, pois, determinar a melhor sequência de decisões a tomar num ambiente de incerteza, fornecendo ferramentas que permitem avaliar tarefas de um projeto quando existe flexibilidade operacional. As decisões são tomadas de acordo com as oportunidades que aparecem ao longo da vida do projeto, o que leva a que o caminho ótimo de decisões seja determinado e escolhido, instante a instante, mudando, se necessário, o nível de recursos em utilização, à medida que surgem novos acontecimentos e/ou oportunidades. Esta abordagem de avaliação pode ser aplicada a projetos de I&D, e tem em conta informação (quantitativa) disponibilizada pelos gestores de projeto, quando este é proposto, bem como outro tipo de informação que pode ser eliciada aos gestores de projeto. Os resultados desta ferramenta ajudam os gestores na alocação de recursos, especialmente os humanos. Além disso, como os projetos são sujeitos a incerteza, novas informações podem chegar e essa informação deve ser usada para rever a estratégia utilizada.

Note-se que pode não ser possível aplicar os modelos de avaliação de projetos de I&D, já existentes na literatura, a todas as empresas, nomeadamente à empresa em que se baseou a construção das duas abordagens apresentadas nesta dissertação. As razões podem ser falta de informação necessária à aplicação dos modelos ou a não verificação de alguns pressupostos que esses modelos exijam. Para proceder à avaliação dos projetos, é necessário perceber a estrutura da empresa que os integra e a informação disponível.

Em seguida, serão introduzidos, de forma sumária, os dois mecanismos para a avaliação de projetos de I&D na área das telecomunicações, integrados na empresa referida. Cada modelo de avaliação requer informação diferente e os resultados são, também, de natureza diferente. No entanto, ambas as metodologias podem ser utilizadas e relacionadas, o que permite à empresa perceber quais os projetos que melhor cumprem os objetivos pretendidos.

1.1 Abordagem hierárquica de avaliação

A primeira abordagem, a hierárquica de avaliação, é uma abordagem multicritério que, na sua essência, é estruturada numa hierarquia de critérios. Esta abordagem é menos rigorosa a nível formal, tendo como principal objetivo priorizar projetos da empresa. Os projetos da empresa considerada podem ser divididos em diferentes partes ou parcelas, que são denominadas por ações. Pode haver, também, a necessidade de perceber qual a importância de cada ação, e de que forma as ações devem ver satisfeitas as suas necessidades de recursos. A avaliação das ações também está integrada nesta abordagem. Esta abordagem hierárquica de avaliação permite, pois, priorizar um conjunto de projetos ou um conjunto de ações. Esta priorização pode ser útil para selecionar projetos/ações ou para verificar qual ou quais os projetos/ações que devem ver, primeiramente, as suas necessidades satisfeitas, em termos de recursos.

A abordagem hierárquica de avaliação é inspirada no processo de avaliação desenvolvido para a British Aerospace Military Aircraft and Aerostructures, apresentado em Farrukh *et al.* (2000), e as suas linhas gerais são apresentadas em Afonso *et al.* (2008), Fialho *et al.* (2008) e em Fialho *et al.* (submetido2). A utilização simultânea de critérios financeiros e não financeiros numa estrutura hierárquica é baseada no modelo originalmente apresentado por Boucher e MacStravic (1991).

A utilização de uma estrutura hierárquica de critérios, para proceder à avaliação, deve-se ao facto de existirem, na empresa, diferentes níveis de decisão: nível da administração, nível dos projetos em curso e nível das ações que integram cada projeto. Em cada nível de decisão da hierarquia, são identificados os critérios relevantes pelos responsáveis de decisão desse nível. Estes responsáveis devem, ainda, manifestar as suas preferências relativamente a esses critérios, de forma a inferir a sua importância, o que permite proceder à avaliação dos projetos, segundo cada critério. Esta avaliação é feita através da comparação dos projetos entre si, segundo cada critério. A agregação dos resultados destas avaliações fornece um indicador para cada projeto, que deverá refletir o desempenho global do mesmo. Os indicadores relativos aos projetos poderão servir de base para a seleção de projetos ou para, de entre os projetos selecionados, servir de base à alocação de recursos. Entre os critérios definidos, podem existir critérios financeiros, os quais devem ser utilizados de forma a que os resultados com eles obtidos possam ser comparados e agregados aos resultados da avaliação realizada segundo critérios qualitativos. Os resultados da avaliação, segundo os critérios financeiros, são importâncias relativas ou prioridades, posteriormente agregadas às prioridades dos outros critérios, de forma a determinar um valor de desempenho global ou prioridade global para o ou para os projetos em avaliação.

As ações de um projeto podem ser avaliadas a partir de uma estrutura hierárquica semelhante, dando uma indicação sobre a alocação dos recursos a essas ações, de entre os recursos atribuídos ao projeto a que pertencem. A estrutura hierárquica de avaliação das ações tem em conta a importância de cada ação no projeto, permitindo, assim, considerar a interdependência entre estes dois níveis de decisão/avaliação.

A abordagem hierárquica de avaliação permite, também, avaliar apenas uma ação (projeto) ou um conjunto de ações (projetos), comparando o(s) elemento(s) em avaliação em relação a um conjunto de ações (projetos) de referência. Estas referências são definidas *à priori* e têm em conta as políticas estratégicas da empresa. O resultado da avaliação individual corresponde ao nível de atratividade do elemento que se avaliou (ação ou projeto).

A informação necessária para aplicar a abordagem hierárquica de avaliação é mais fácil de obter do que a necessária para uma abordagem baseada em ferramentas analíticas de opções reais. Por ser menos exigente a nível de planeamento e de informação necessária, pode ser mais facilmente aplicável, sem suscitar resistências à sua aplicação, facilitando a sua aceitação e implementação. A abordagem hierárquica de avaliação também conduz a decisões fundamentadas, e a sua estrutura de preferências permite compreender melhor as decisões tomadas e detetar com mais facilidade eventuais incoerências no processo de decisão, o que leva a uma maior responsabilização por parte dos decisores. Outra vantagem na utilização desta abordagem é a identificação de oportunidades estratégicas e de flexibilidade operacional, através de uma correta definição dos critérios utilizados, passando a ser um fator relevante nas decisões a tomar e levando, também, os responsáveis de decisão a procurá-las ativamente.

1.2 Abordagem estocástica de avaliação

A segunda abordagem, a abordagem estocástica de avaliação, é apoiada na análise de opções reais, necessitando de mais informação específica ao nível do modelo de avaliação. A abordagem estocástica é baseada em Godinho *et al.* (2007) e tem em conta apenas um critério, na sua avaliação: o critério financeiro. A abordagem estocástica de avaliação foi introduzida em Fialho *et al.* (2011) e mais desenvolvida em Fialho *et al.* (submetido1). Considera-se que um projeto pode ser constituído por diversas ações e que estas podem ser constituídas por diversas tarefas. Esta abordagem tem como objetivo a construção da estratégia que maximiza o valor esperado, na execução de uma tarefa de uma ação de um projeto de I&D. Essa estratégia passa por encontrar o melhor nível de recursos a atribuir à tarefa, em cada momento, e através dela, é possível encontrar o valor atual líquido máximo esperado para a tarefa. Assim, esta abordagem permite dois tipos de resultado. Por um lado, esta abordagem de

avaliação permite a comparação entre tarefas, através dos seus valores atuais líquidos esperados (critério financeiro); por outro lado, esta abordagem permite encontrar a melhor estratégia para a execução de uma tarefa de uma ação.

Como foi referido, a restrição mais importante no tipo de empresa considerado é a limitação na disponibilidade de recursos humanos. Admite-se, na abordagem estocástica de avaliação, a existência de vários níveis de recurso que se diferenciam pelo tempo de execução de uma tarefa e pelos custos associados. O objetivo é encontrar a melhor estratégia de execução de uma tarefa, isto é, mediante os níveis de recurso disponíveis, perceber, a partir da definição de regras próprias, qual o nível de recursos a utilizar, em cada momento. A definição dessa estratégia é feita a partir da maximização de um valor que representa e caracteriza a tarefa, que se denomina por valor atual líquido para a tarefa. Este valor atual líquido contém o conjunto de *cash flows* esperados decorrentes da conclusão da tarefa, devidamente atualizados, e os custos associados à utilização dos níveis de recurso durante a execução da tarefa.

Apesar de esta abordagem avaliar, apenas, tarefas de ações, no futuro pode pensar-se na interligação das tarefas, isto é, fazendo a avaliação de cada uma das tarefas e estudando a sua interligação, é possível encontrar um valor global para a ação que é composta por essas tarefas. Sendo um projeto um conjunto de ações, a avaliação e interligação dessas ações poderá levar à determinação de um valor global financeiro, que caracterize o projeto. Esse valor financeiro poderá, eventualmente, ser utilizado de diversas formas: como um critério financeiro, quando se avalia um conjunto de projetos de acordo com outros critérios; como o resultado geral de avaliação, se se pretender avaliar um conjunto de projetos numa perspetiva exclusivamente financeira. Esta última pode ser utilizada se o conjunto de projetos tiver como principal objetivo o lucro. Se assim for, a partir dos valores resultantes da avaliação, podem priorizar-se ou selecionar-se projetos. No entanto, a aplicação da abordagem estocástica a projetos (conjunto de ações relacionadas) pode ser difícil, devido às diferentes naturezas das ações que o compõem. Existirá, ainda, uma aplicação mais direta desta abordagem de avaliação: encontrar a estratégia para executar cada tarefa de um projeto, sabendo os recursos disponíveis.

No processo de avaliação, são construídos modelos para o tempo de execução da tarefa, cujos parâmetros necessários variam com o nível de recursos utilizado, e para os custos, que dependem do tempo de execução e do nível de recursos utilizado. São, ainda, construídos modelos para os *cash flows* esperados decorrentes da conclusão da tarefa. A partir destes modelos, o processo recorre à construção de funções de regressão, obtidas a partir de um método de simulação, baseado no *least squares* Monte Carlo, LSM (Longstaff e Schwartz, 2001). São estas funções de regressão que permitem a definição da melhor estratégia para a execução de cada tarefa.

1.3 Utilização das abordagens hierárquica e estocástica de avaliação

As duas abordagens de avaliação apresentadas permitem conduzir a decisões solidamente fundamentadas, compreender melhor as razões das decisões tomadas, e ajudar a perceber onde poderão ter ocorrido erros de avaliação, quando se constate que as decisões tomadas não foram as mais adequadas. Além disso, estas abordagens podem ainda constituir um apoio à tomada de decisões intercalares (entre dois momentos de planeamento) quando surgem situações imprevistas, como por exemplo, o aparecimento de novas oportunidades não previstas no momento do planeamento.

A utilização das abordagens de avaliação depende da informação disponível e dos critérios que se considerem relevantes. Enquanto a abordagem hierárquica de avaliação agrega diferentes critérios de forma determinista, a abordagem estocástica utiliza apenas um critério financeiro e modelos estocásticos para definir o comportamento das variáveis de estado que o integram.

A abordagem hierárquica de avaliação, baseada numa estrutura hierárquica de critérios, permite proceder à avaliação dos projetos e respetivas ações, sendo menos exigente em termos de informação requerida. Também permite incorporar a flexibilidade operacional, a partir da definição de critérios relevantes. Além disso, permite avaliar projetos, cuja informação financeira não esteja disponível para determinados horizontes temporais. Para empresas que explorem projetos de I&D, os critérios financeiros podem não ser os únicos com importância; podem existir outros critérios, de carácter estratégico e operacional, que podem ser considerados tão importantes como os financeiros, devido à própria natureza dos projetos em estudo. Critérios não financeiros podem ser utilizados para considerar, no processo de avaliação, as políticas estratégicas da empresa. Note-se que uma empresa, cujos objetivos passam pela inovação e tecnologia, pode ter vantagem em iniciar certos projetos, cujo impacto financeiro pode não ser visível num futuro imediato, mas que podem trazer outro tipo de vantagens, como sendo o domínio de certo tipo de tecnologia ou conhecimento, e a melhoria da imagem da empresa no público ou entre empresas congéneres. A abordagem hierárquica de avaliação pressupõe uma separação clara da informação a fornecer por diferentes áreas da empresa. Informação relativa às preferências institucionais é definida pela administração, e informação relativa aos dados concretos sobre os projetos é fornecida pelos respetivos responsáveis diretos. Logo, perante um conjunto de projetos que se pretenda avaliar, com o objetivo de os seleccionar ou priorizar, segundo critérios mais estratégicos e operacionais definidos no âmbito da estratégia da empresa, a abordagem hierárquica de avaliação evidencia-se e deve ser adotada.

A utilização exclusiva da abordagem estocástica, fortemente baseada em modelos analíticos, permite considerar, de forma explícita e analiticamente coerente, a flexibilidade operacional na avaliação dos

projetos, partindo da avaliação das tarefas que constituem as ações desses projetos. No entanto, esta abordagem, quando generalizada para as ações e/ou projetos, iria requerer um planeamento muito superior ao praticado, em geral, no tipo de empresa considerado. Esta necessidade de planeamento poderia suscitar resistências à sua aplicação e dificultar a sua aceitação e conseqüente sucesso. Ainda assim, para ações ou projetos mais exclusivos da área de negócio, poderá ser possível a sua implementação: a interligação das tarefas que compõem as ações pode resultar em valores financeiros que caracterizam/avaliam as ações de um projeto. Esta avaliação poderá permitir uma seleção de ações ou ter linhas orientadoras para perceber quais as ações que devem ser iniciadas em primeiro lugar.

As duas abordagens podem-se complementar, quando for possível implementar ambas. A abordagem hierárquica fornece uma priorização das ações ou projetos, tendo em conta diversos critérios, que não só os financeiros; esta priorização permite uma distribuição dos recursos disponíveis pelas diferentes ações ou projetos; a partir do conhecimento dos recursos disponíveis, a abordagem estocástica de avaliação indica a estratégia de execução mais adequada. No entanto, é necessário referir que, enquanto a abordagem hierárquica aloca os recursos de forma rígida e determinista, a abordagem estocástica fá-lo de forma flexível. Será necessário encontrar um procedimento que relacione o modo como se distribuem os recursos de ambas as abordagens. Os níveis de recurso que não forem utilizados na estratégia resultante da aplicação da abordagem estocástica ficarão disponíveis para serem realocados noutras ações ou projetos. Esta reintegração e realocação deverão ser analisadas quando se proceder à conjugação de ambas as abordagens.

As duas abordagens podem, também, complementar-se de outra forma. Suponha-se que, para um conjunto de ações que se queira avaliar, conhecem-se os níveis de recurso disponíveis e é possível aplicar a abordagem estocástica de avaliação. A aplicação desta abordagem permite encontrar um valor financeiro que caracteriza cada ação. Contudo, os responsáveis querem considerar, na avaliação desse conjunto de ações, outros critérios que não são possíveis de exprimir em termos financeiros. Neste caso, a abordagem hierárquica de avaliação poderá ser utilizada, sendo que os valores obtidos, a partir da abordagem estocástica, podem ser considerados nos critérios financeiros. Neste tipo de conjugação das abordagens, o resultado de avaliação da abordagem hierárquica servirá, essencialmente, para priorizar as ações e perceber quais as mais importantes, quais devem ser iniciadas ou quais devem ver, em primeiro lugar, as suas necessidades satisfeitas.

1.4 Contribuição da dissertação

Ambas as abordagens de avaliação foram construídas tendo em conta a estrutura de uma empresa específica, constituindo, assim, uma contribuição original deste trabalho. Outras abordagens de avaliação já descritas na literatura podem não ser tão adequadas como as que são pensadas de raiz e de acordo com a empresa onde poderão ser aplicadas. Note-se que as empresas e os projetos são desenvolvidos por um conjunto de pessoas que podem ter objetivos, estratégias e políticas diferentes. Isto é, os modelos de avaliação de projetos de I&D devem ter em conta, não só o próprio projeto e a área onde o projeto se insere, mas também a estrutura, os objetivos ou outras características que sejam importantes para a própria empresa, sob pena de se considerarem pressupostos difíceis ou impossíveis de encontrar na realidade. A aplicabilidade desses modelos deve ser garantida, pelo que os dados de entrada do modelo devem ser possíveis de inferir, a partir de informações disponibilizadas pelas próprias empresas. Todo este processo levou à perceção da dificuldade em construir modelos gerais de avaliação que possam ser aplicados a projetos de I&D.

Para além do referido anteriormente, existem contribuições originais associada a ambas as abordagens apresentadas. Na abordagem hierárquica de avaliação, recorreu-se à utilização do método AHP (*analytic hierarchy process*), mas com algumas adaptações:

- Para avaliar corretamente um conjunto de projetos ou um conjunto de ações de projetos, é necessário integrar critérios financeiros, que se baseiam em valores tangíveis. Para que se possa utilizar o método AHP nesta avaliação, é necessário encontrar uma forma para priorizar esses valores financeiros. Isto é, é necessário conjugar esses critérios tangíveis com os critérios não tangíveis no processo de avaliação. Uma forma de fazer essa conjugação é uma das contribuições deste trabalho, já introduzida em Godinho *et al.* (2011) e em Fialho *et al.* (submetido2). A solução encontrada passou por estabelecer valores financeiros de referência que são comparados, entre si, por elementos da gestão de topo da empresa. Considera-se que existe linearidade de preferências entre dois valores de referência consecutivos. Desta forma, é possível construir uma matriz ampla de comparações, contendo os valores de referências e os valores financeiros dos projetos (ou das ações de projetos) em avaliação. Esta matriz poderá ser incompleta, já que não se comparam, diretamente, os valores financeiros dos projetos (ações) em avaliação. A determinação do vetor de prioridades é feita a partir da metodologia de Harker (1987). Desse vetor de prioridades, obtêm-se as prioridades dos projetos (ou ações) em avaliação.

- A utilização do AHP levanta outras dificuldades, como sendo o número elevado de comparações e a dificuldade em estabelecer certas comparações. Uma proposta para ultrapassar tais dificuldades é outra contribuição deste trabalho, também já introduzida em Godinho *et al.* (2011) e em Fialho *et al.*

(submetido2). Essa proposta passa por conjugar a metodologia de Harker (1987) com a utilização de referências. São definidos vários projetos (ou ações de projetos) de referência, que são comparados entre si, em todos os critérios. Este processo é feito pela gestão de topo da empresa. Os projetos (ou ações) em avaliação podem ter características que dificultam a comparação entre si, nos diferentes critérios. No entanto, cada projeto (ou ação) em avaliação pode ser comparado com uma ou mais referências. Pode construir-se uma matriz ampla de comparações, que inclui as referências e o conjunto em avaliação. Esta matriz é incompleta, e para retirar o vetor das prioridades, utiliza-se a metodologia de Harker (1987). Para obter as prioridades dos projetos (ou ações) em avaliação, normalizam-se os valores referentes a esses projetos (ou ações), calculados a partir da matriz ampla de comparações.

A abordagem estocástica de avaliação também contém algumas contribuições originais. Em primeiro lugar, o modelo de avaliação foi pensado de raiz e consiste em determinar um valor para cada tarefa, o valor atual líquido da tarefa. O valor atual líquido é definido a partir dos custos da tarefa, do tempo necessário para a finalizar e dos *cash flows* esperados, e os custos e tempo de finalização dependem dos níveis de recursos utilizados. Os modelos para os custos e para o tempo foram construídos com base na literatura e de acordo com essa dependência. O modelo para os *cash flows* esperados foi definido, também, com base na literatura, adaptado à realidade da empresa: os *cash flows* dependem do tempo de finalização, mas não dependem do nível de recursos utilizado.

Em segundo lugar, o processo de avaliação é baseado no método de simulação *least squares* Monte Carlo (LSM), introduzido por Longstaff e Schwartz (2001), com as adaptações necessárias. Quer o modelo, quer o processo de avaliação foram introduzidos em Fialho *et al.* (2011) e em Fialho *et al.* (submetido1). No método LSM, as funções de regressão são definidas desde o último instante até ao primeiro. No caso da abordagem estocástica de avaliação, o tempo não é fixo. Para tal, foi considerado que cada tarefa necessita de um determinado número de unidades (de trabalho) para ficar concluída. As funções de regressão são definidas para cada uma destas unidades de trabalho. Em vez de analisar as decisões ótimas de instante em instante, desde o último até ao primeiro, o processo de avaliação proposto analisa as decisões ótimas desde a última unidade de trabalho até à primeira. As funções de regressão permitem, também, construir fronteiras de decisão. Estas fronteiras definem o melhor nível de recursos a utilizar, em função do tempo decorrido e do valor atual dos *cash flows* obtidos, caso a tarefa terminasse nesse instante.

Esta dissertação focou-se, então, na construção de modelos de avaliação de projetos e tarefas de I&D, de acordo com a informação que uma empresa específica pode fornecer. Os modelos requerem

informação de índole diferente, e permitem uma avaliação que tem em conta a informação disponível e os objetivos e natureza dos projetos.

1.5 Organização do trabalho

Esta dissertação está estruturada em cinco capítulos que, em seguida, são descritos, de forma sucinta. No Capítulo 1, “Introdução”, é apresentado, de forma sucinta, todo o trabalho desenvolvido. É dada a motivação para este trabalho, é apresentado um resumo alargado da dissertação, é sistematizada a contribuição original do mesmo e é feita uma descrição sucinta dos diferentes capítulos.

No Capítulo 2, “Avaliação de projetos de I&D”, são introduzidos e caracterizados os projetos de I&D. Posteriormente são revistos diferentes modelos e métodos de avaliação em I&D. Estes modelos e métodos de avaliação têm diferentes naturezas e necessitam de diferente tipo de informação para poderem ser aplicados. Nesta revisão, existem muitos modelos e métodos de avaliação, baseados em pressupostos e metodologias diferentes. Enfatizou-se mais a avaliação de I&D, usando opções reais, já que o modelo mais rigoroso apresentado baseia-se na teoria das opções reais, e esta teoria requer uma fundamentação teórica mais alargada. Foram descritos alguns modelos e abordagens de avaliação, dando ênfase aos que mais se aproximavam do trabalho aqui apresentado. Para além deste tipo de modelos, apresentou-se, de forma mais abrangente, outras metodologias que servem o propósito de avaliação de I&D e que utilizam múltiplos critérios. Finalmente foram referidos outros modelos e metodologias que também avaliam projetos de I&D. A revisão da literatura privilegiou modelos e metodologias que mais se aproximavam do trabalho aqui desenvolvido. Durante a revisão, procurou-se que os conceitos necessários a esses modelos fossem, também, introduzidos.

No Capítulo 3, “Abordagem hierárquica para avaliar projetos de I&D na área de telecomunicações”, apresenta-se uma ferramenta de avaliação que resulta de um processo que deve envolver vários elementos da empresa. A solução tem por base a avaliação comparativa das propostas com que a empresa se depara, e parte daí para a alocação de recursos entre os projetos selecionados. A avaliação comparativa baseia-se numa estrutura hierárquica de critérios e o processo de avaliação tem como base o método AHP. Foram feitas algumas alterações, na utilização do AHP, nomeadamente no tratamento de critérios tangíveis e de matrizes incompletas de comparações, que podem surgir devido à dificuldade de estabelecer algumas dessas comparações ou devido ao grande número de alternativas a comparar. Os recursos mais importantes da empresa são as pessoas, e a solução definida permite orientar os decisores relativamente à alocação das pessoas aos projetos.

No Capítulo 4, “Abordagem estocástica para avaliação de tarefas de I&D”, propõe-se um procedimento para gerir tarefas de projetos de I&D da mesma empresa. Este procedimento baseia-se na teoria das opções reais e baseia-se no método de simulação LSM para calcular o valor dessas tarefas. É assumido que diferentes níveis de recursos podem ser alocados a uma tarefa, e que esses níveis de recurso têm custos e tempos médios de execução diferentes. O avanço da tarefa é estocástico e os responsáveis pelo projeto podem realocar recursos à medida que a tarefa vai progredindo. Considera-se que uma estratégia para completar a tarefa é um conjunto de regras que define o melhor nível de recurso a utilizar, em cada momento. A evolução de diferentes estratégias é analisada, pretendendo-se encontrar a estratégia ótima de execução de uma tarefa de I&D.

No Capítulo 5, “Conclusões e linhas de investigação futura”, são apresentadas as conclusões tiradas deste trabalho, e são ainda apresentadas as linhas condutoras para o trabalho futuro.

Capítulo 2

AVALIAÇÃO DE PROJETOS DE I&D



2. AVALIAÇÃO DE PROJETOS DE I&D

2.1 Introdução

Neste capítulo pretende-se fazer uma revisão sobre alguns métodos e modelos de avaliação de projetos de I&D. Em primeiro lugar, apresenta-se uma caracterização deste tipo de projetos e a justificação da necessidade da sua avaliação. Em seguida, é introduzida a teoria das opções reais e como pode ser utilizada na avaliação de projetos de I&D. Para tal, é, inicialmente, revista a abordagem clássica de avaliação financeira de projetos, para depois introduzir alguns conceitos sobre a análise de opções reais. Introduzem-se as principais formas de flexibilidade operacional que ocorrem nestes projetos, discute-se a modelação do risco e descrevem-se algumas abordagens de avaliação, bem como alguns modelos de avaliação, que podem ser utilizados em projetos de I&D. Para além de métodos e modelos baseados na teoria das opções reais, também existem outros tipos de abordagens de avaliação de projetos de I&D, que são, também, revistos neste capítulo.

2.2 Caracterização dos projetos de I&D

A investigação e desenvolvimento podem incluir, em geral, três tipos de atividades (OECD 1993; Djellal *et al.*, 2003): investigação básica, investigação aplicada e desenvolvimento experimental. A investigação básica corresponde a um trabalho teórico ou experimental para adquirir novos conhecimentos ou factos sobre um determinado fenómeno, mas sem nenhuma aplicação particular em vista. A investigação aplicada também é original e permite adquirir novos conhecimentos, mas já com um objetivo específico em termos de utilização. O desenvolvimento experimental é um trabalho sistemático, em que se coloca em prática o conhecimento obtido, de forma a produzir um novo produto, material ou dispositivo, com o objetivo final de instalar novos (ou melhorar muito) processos, sistemas ou serviços.

As atividades de I&D permitem inovar no resultado da investigação e desenvolvimento. Esta inovação encontra-se na resolução de incertezas a nível tecnológico e/ou científico num problema, cuja solução não era óbvia perante as ferramentas e conhecimento obtidos até então (Djellal *et al.*, 2003). Os projetos de I&D podem combinar diferentes disciplinas durante a pesquisa, de forma a poderem corresponder aos objetivos do projeto. A aquisição de competências científicas e tecnológicas é fundamental para a conceção e condução das atividades de I&D. Numa empresa ou indústria em que a tecnologia impere, é necessário rever e melhorar as aplicações ou tecnologias utilizadas, devido à existência de competidores e às alterações de preferências por parte dos consumidores. Investimentos em projetos de I&D permitem melhorar o desempenho e inovar numa determinada área de mercado. Os projetos de I&D são ferramentas que permitem a uma empresa superar os concorrentes e obter

novas informações sobre métodos e tecnologias promissoras. Com essas novas informações, as empresas pretendem defender e construir vantagens competitivas sustentáveis (Carlsson *et al.*, 2007). Existem, no entanto, projetos de I&D que podem não ter sucesso. Balachandra e Friar (1997) referem fatores que influenciam o sucesso destes projetos: mercado, tecnologia, ambiente e organização. A resposta e interesse do mercado são muito importantes para o sucesso no resultado dos projetos de I&D. É importante perceber se o resultado do projeto se insere num mercado já estabelecido, ou se esse resultado é tão inovador que ainda não existe um mercado próprio. A tecnologia influencia também o sucesso destes projetos, pois podem existir barreiras tecnológicas que sejam necessárias ultrapassar. Por outro lado, o sucesso do projeto também dependerá da originalidade e criatividade da tecnologia utilizada ou criada. O ambiente influencia também os projetos de I&D, devido a fatores sociais e políticos, tais como o interesse público pelo projeto ou a receptividade ao resultado do projeto. A organização, na qual o projeto está inserido, também influencia o seu sucesso, já que esta deve planeá-lo e calendarizá-lo. Kort (1998) refere a vantagem de desenvolver, por exemplo, uma nova tecnologia na empresa que a vai comercializar e/ou utilizar. Repare-se que, se assim for, existe vantagem na troca de informação entre quem desenvolve a tecnologia e quem a utiliza e/ou comercializa.

Algumas características comuns a muitos projetos de I&D são a incerteza (que pode estar presente nos custos e receitas do projeto e/ou nas tecnologias utilizadas/desenvolvidas), a assimetria entre ganhos e perdas e a flexibilidade operacional durante a execução do projeto (Schwartz e Zozaya-Gorostiza, 2000). Os projetos de I&D são fortemente sujeitos a incerteza, e o risco associado pode ter origens diferentes. O risco pode ter origem no mercado (nos preços de mercado) ou pode estar associado especificamente ao projeto. O risco específico do projeto pode estar presente, entre outros, nos custos, nas receitas, ou nos resultados, devido, por exemplo, à incerteza tecnológica. Note-se que a diferença entre os termos incerteza e risco vem do facto de o risco ser mensurável (através de distribuições de probabilidade) e a incerteza não (Knight, 1921). No entanto, ambos os termos são, muitas vezes, utilizados no sentido de não se conhecer, ao certo, as consequências de uma decisão. No trabalho apresentado, é esse o sentido dado aos termos risco e incerteza.

Como o valor de um investimento em I&D não é só determinado a partir dos *cash flows* previstos no investimento inicial, mas também a partir das oportunidades de investimento futuras (Schwartz e Zozaya-Gorostiza, 2000), muitas vezes, os projetos são estruturados em diferentes fases para melhor se proceder à sua avaliação. Esta estruturação também é justificada pelo facto de informações necessárias à avaliação só estarem disponíveis ao longo da vida do projeto. Muitas vezes, pode optar-se por esperar e verificar se mais e melhor informação é obtida durante esse tempo. No entanto, frequentemente, só quando o projeto é iniciado, se podem obter determinadas informações.

A avaliação de projetos de I&D depende da informação disponibilizada e da que se vai obtendo ao longo da sua execução. Perante o tipo de informação obtida, podem utilizar-se diferentes métodos e modelos de avaliação.

2.3 Opções Reais e avaliação de projetos de I&D

É importante perceber como avaliar um projeto de I&D singular, nomeadamente, como proceder à avaliação financeira. Uma tal avaliação pode revestir-se de grande complexidade, devido à incerteza que estes projetos apresentam. Nomeadamente pode tornar-se difícil incorporar, na avaliação, a flexibilidade operacional destes projetos: à medida que nova informação vai sendo obtida, é necessário (re)definir a estratégia para a execução do projeto, isto é, rever o plano de ação para responder, da melhor forma, à chegada de novas informações. Por exemplo, uma empresa pode desenvolver um protótipo de um produto e, mediante o seu desempenho, decidir lançá-lo ou não no mercado (Schneider *et al.*, 2008). Devido, também, a esta flexibilidade e incerteza, os projetos de I&D são, em muitos casos, desenvolvidos por fases. Ou seja, após a conclusão de cada fase, existe o direito, mas não a obrigação de prosseguir para uma nova fase do projeto.

Para proceder à avaliação, existem diferentes abordagens. Em seguida, são descritos dois tipos de abordagens: a abordagem financeira clássica e a que utiliza opções reais. A principal diferença entre estas duas abordagens é que a clássica não incorpora o valor da flexibilidade operacional, isto é, não incorpora o valor associado a alterações que possam ocorrer durante o decurso de um projeto. Assim, após a apresentação de ambas as abordagens, e porque é necessário incorporar, na avaliação de projetos de I&D, a flexibilidade operacional, são apresentadas as características principais da flexibilidade operacional presentes neste tipo de projetos. Além disso, e devido à incerteza a que estes projetos estão sujeitos, são apresentadas algumas formas para modelar o risco em I&D. Após a apresentação destas características, são descritas diferentes abordagens de avaliação, utilizando opções reais, de forma a incorporar o valor da flexibilidade operacional na avaliação destes projetos. Finalmente, são apresentados alguns modelos de avaliação em I&D que estão próximos do trabalho desenvolvido.

2.3.1 Abordagem clássica de avaliação

Existem várias ferramentas para avaliar projetos de I&D ou outro tipo de investimento, que permitem estimar a atratividade desse investimento. Entre elas, podem encontrar-se a taxa interna de rentabilidade (TIR), o valor atual líquido (VAL), entre outros. No entanto, a ferramenta mais utilizada e que ganhou prevalência sobre as outras, por ser teoricamente mais sustentada, é o VAL. O VAL utiliza projeções de *cash flows* - diferença entre os recebimentos e pagamentos em numerário que ocorrem num determinado momento ou período de tempo (Godinho, 2003) - futuros esperados, que

são, posteriormente, atualizados para o presente, de forma a obter um valor atual. Esta atualização é feita a partir de uma taxa, que corresponde ao prêmio que os investidores exigem pela aceitação de um recebimento adiado com risco (Brealey *et al.*, 2006: 14-29). Se a este valor atual se subtrair o custo de investimento inicial, obtém-se o Valor Atual Líquido (VAL). Assim,

$$VAL = -I + \sum_{t=1}^{np} \frac{Cf_t}{(1+r)^t} \quad (2.1)$$

onde:

I – Investimento inicial;

np – número de períodos considerados;

r – taxa de atualização;

Cf_t - *cash flow* esperado no período t .

Se se considerar capitalização contínua, em vez da capitalização discreta, o fator $(1+r)^t$ deve ser substituído por e^{rt} . As razões que levam o VAL a prevalecer sobre as restantes ferramentas, são o reconhecimento do valor temporal do dinheiro, a dependência exclusiva dos *cash flows* e da taxa de atualização, e a aditividade de valores atuais, pois estes correspondem a valores monetários de hoje (Brealey *et al.*, 2006: 14-29).

Esta ferramenta é simples de utilizar, pois dá um valor quantitativo do projeto ou investimento, e facilita também a apresentação de conclusões, pois facilmente se conclui se se deve investir: deve-se investir, se e só se os benefícios previstos forem superiores aos respetivos custos, medidos em valores monetários de hoje, isto é, se e só se o VAL for positivo.

No entanto, esta abordagem apresenta algumas limitações. Em primeiro lugar, para o cálculo dos *cash flows* futuros, são assumidas as decisões para o decurso do projeto. Ora, em projetos de natureza incerta, como são os de I&D, podem existir algumas decisões que são deixadas para o futuro, aquando da chegada de novas informações. O VAL (e outras ferramentas tradicionais) assume um plano fixo para a execução do projeto. Ora, o ciclo de vida de um projeto pode não ser determinista e, com a chegada de novas informações, pode acontecer uma mudança de plano de ação no projeto, e serem tomadas algumas opções que não estavam previstas anteriormente. A estimação dos *cash flows* pode, assim, à partida, ser difícil, devido à flexibilidade operacional: durante a vida de um projeto, podem ser conhecidos alguns aspetos relativos à incerteza do projeto, o que leva à alteração do curso do mesmo. As taxas de atualização são, nos métodos tradicionais, normalmente, definidas à partida. Ao

longo da vida do projeto, podem ocorrer certos acontecimentos ou as condições de mercado podem alterar-se, levando a que essas taxas de atualização deixem de ser adequadas. A abordagem clássica assume que todos os fatores, que afetam os benefícios e custos, estão incluídos no seu cálculo. Ao longo da vida de um projeto, podem existir fatores que sejam dificilmente quantificáveis e previsíveis, à partida, e que afetam o valor de alguns *cash flows* futuros. Podem existir ainda fatores não quantificáveis, mas que afetam os *cash flows* futuros, que não são contemplados numa abordagem clássica, mas que afetam e podem aumentar os benefícios do projeto (Mun, 2006).

A abordagem clássica não integra, pois, o valor da flexibilidade operacional, útil para rever decisões no futuro, caso o projeto seja afetado por acontecimentos incertos. Esta flexibilidade operacional está bem presente em projetos de I&D, pois pode ser benéfico reagir e alterar as ações, sempre que nova informação chegue durante a execução do projeto. Esta informação influencia o valor do projeto, e portanto, pode ser necessário rever o plano de ação. Por exemplo, a abordagem clássica pode não incorporar corretamente o valor da introdução de uma nova tecnologia durante a realização do projeto, já que, inicialmente, pode não estar definido o benefício dessa tecnologia ao longo do tempo (Wang e Halal, 2010).

Como foi referido, os métodos tradicionais calculam *cash flows*, partindo de um plano fixo para o desenvolvimento do projeto, isto é, a partir do momento em que o projeto é iniciado, assume-se que existe um caminho definido para a sua execução e desenvolvimento. Ora, os mercados atuais são caracterizados pela incerteza e interações competitivas, ou seja, os *cash flows* verificados vão, provavelmente, diferir dos calculados inicialmente (Trigeorgis, 1993). Miller e Park (2002) enunciam três limitações para o uso de métodos tradicionais na avaliação de investimentos sujeitos a incerteza e que comportam flexibilidade operacional. A primeira limitação é a definição correta da taxa de atualização. Se a incerteza for muito grande, existe uma limitação na forma como o VAL é utilizado e opta-se, em geral, por uma elevada taxa de atualização, refletindo um prémio de risco elevado. A segunda limitação é a ausência do valor que a flexibilidade operacional incorpora no valor do projeto, à medida que novas informações chegam. A terceira limitação está na tomada de decisão de investimento: nos métodos tradicionais, as decisões de investimento são vistas como um “agora ou nunca”, sem a possibilidade de as adiar. Por exemplo, na aplicação do VAL, aceita-se o investimento total se o seu valor, calculado à partida, for positivo; rejeita-se o investimento total, se o valor do VAL for negativo. Num projeto de I&D, os métodos tradicionais podem não traduzir corretamente o seu valor, devido à incerteza e à flexibilidade operacional que pode ocorrer durante a vida do projeto.

Apesar de todas as limitações, a abordagem clássica não se pode considerar errada, mas antes incompleta. Outras abordagens de avaliação, mais flexíveis, vêm complementar a abordagem clássica, através da incorporação de fatores de risco e incerteza presentes nos contextos atuais das empresas.

2.3.2 *Conceitos relativos a opções reais*

A abordagem tradicional, por avaliar de forma incompleta um investimento que inclua fatores de incerteza e que necessite de adaptar o seu plano de ação ao longo do tempo, foi sendo complementada através de análise de sensibilidade, ou a partir da introdução de outras técnicas de avaliação, que incluem também modelos probabilísticos. Estas técnicas incluem o valor da flexibilidade operacional, isto é, incluem o valor decorrente dos ajustamentos do plano de ação, e permitem, assim, que as empresas possam melhorar a qualidade das suas decisões de investimento. Uma dessas técnicas é a utilização de opções reais, que permite avaliar projetos de investimento com base em métodos originalmente desenvolvidos para opções financeiras. Isto, porque uma empresa com oportunidade de investimento tem a opção (direito, mas não obrigação) de adquirir um determinado projeto (ativo) através desse investimento (preço de exercício). Da mesma forma, uma empresa tem o direito, mas não a obrigação, de alterar o plano de ação, originalmente definido para o projeto. No entanto, existem diferenças significativas entre opções financeiras e opções reais.

É, assim, conveniente, introduzir o conceito de opção financeira para depois introduzir as opções reais e suas características. Uma opção financeira pode ser definida como o direito, mas não a obrigação, de comprar (*call option*) ou vender (*put option*), no mercado, um determinado ativo financeiro (ativo subjacente) por um preço pré determinado, num período pré estabelecido (Mestre, 2010). As opções financeiras mais comuns podem, ainda, distinguir-se entre europeias e americanas: as primeiras podem apenas ser exercidas na data de maturidade ou vencimento, enquanto as segundas podem ser exercidas em qualquer altura, até à sua data de maturidade ou vencimento.

Muitos projetos reais podem ser vistos como uma série de opções para investir ou não investir em ativos reais específicos. Repare-se que um investimento em I&D pode ser modelado como uma opção de compra, em que o gestor de projeto tem o direito, mas não a obrigação, de comprar/investir nesse projeto, numa data no futuro (Schwartz e Zozaya-Gorostiza, 2000). Podem, então, referir-se algumas diferenças estruturais entre opções financeiras e opções reais. Em primeiro lugar, o ativo subjacente a uma opção financeira é um ativo financeiro, como sendo uma ação, uma taxa de juro, uma obrigação, etc., enquanto o ativo subjacente a uma opção real é um ativo real, como por exemplo um projeto de I&D, um imóvel, etc. Os ativos subjacentes estão cotados em mercado para as opções financeiras, enquanto, na maioria dos casos, tal não acontece para as opções reais. Nas opções financeiras, os ativos podem ser geridos por pessoas diferentes das que possuem a opção, enquanto os ativos subjacentes às opções reais são, em geral, geridos por quem possui essas opções (Mestre, 2010). Outras diferenças apontadas por Kester (1993): as opções reais podem ser partilhadas por competidores, enquanto as opções financeiras são de quem as possui, isto é, as opções reais, na

maioria dos casos, não são exclusivas (por exemplo, a opção de abrir uma loja numa determinada localização existe até uma outra empresa abrir a sua própria loja nesse local (Huisman *et al.*, 2004)); as opções reais podem não ser facilmente transacionáveis.

As opções reais podem ser interdependentes e podem interagir entre si (Trigeorgis, 1993). Outra diferença existente entre opções reais e opções financeiras está na estimação de parâmetros. A estimação de parâmetros em modelos de opções reais torna-se complicada, pois, para cada projeto, pode não existir informação suficiente. Existe mais informação disponível para a inferência de parâmetros em modelos de opções financeiras. Por exemplo, é difícil estimar os parâmetros que definem o risco/volatilidade do valor de um ativo real, devido à falta de dados históricos que possam ajudar a fazer essa inferência (Newton *et al.*, 2004). O tempo de execução da opção também é diferente entre opções financeiras e opções reais (Newton *et al.*, 2004): enquanto uma opção financeira pode ser exercida num determinado instante temporal, numa opção real, isso pode não acontecer. Por exemplo, se a opção for lançar um novo produto no mercado, o seu exercício demora o tempo de produção. Em termos de expiração da opção, também existem diferenças: as opções reais podem não ter uma data de expiração clara. Por exemplo, se a opção for entrar no mercado antes de qualquer concorrente, a data de expiração desta opção corresponde ao momento em que um competidor entre no mercado.

As opções reais não obrigam à execução de uma ação numa data futura, antes representam uma posição relativamente ao acesso a uma escolha de investimento futuro (Bowman e Hurry, 1993). Por exemplo, o investimento em testes de marketing levam uma empresa a conhecer melhor o mercado para decidir se, ou quando, pretende entrar no mercado (Barnett, 2008). O valor de uma opção real depende de vários fatores (Copeland e Antikarov, 2001: 5-27):

- Valor do ativo subjacente – nas opções reais, em geral, este valor corresponde ao valor do projeto, do investimento, ou do ativo real em questão. Enquanto o detentor de uma opção financeira não pode alterar o valor do ativo subjacente, o detentor da opção real pode gerir o ativo real e alterar o seu valor, bem como o das opções reais que dependem dele.

- Preço de exercício – este valor corresponde, em geral, à quantia necessária para comprar o ativo (numa opção tipo *call*) ou à quantia recebida, se se estiver a vender o ativo (numa opção tipo *put*). Se o preço de exercício de uma opção aumenta, o valor da opção de compra diminui e o valor da opção de venda aumenta.

- Tempo de expiração da opção – em geral, o valor da opção aumenta com o tempo de expiração.

- Volatilidade do preço do ativo subjacente – em geral, o valor da opção aumenta com o risco do ativo real, pois o aumento da volatilidade aumenta a variabilidade do preço do ativo no futuro e, assim, a probabilidade de obter retornos muito altos ou muito baixos aumenta. Numa opção de compra, o seu retorno depende do montante em que o valor do ativo excede o preço de exercício. Inversamente, o retorno de uma opção de venda depende do montante em que o preço de exercício excede o valor do ativo.

- Taxa de juro sem risco – O valor da opção varia com a taxa de juro sem risco.

A teoria de opções reais torna-se, assim, numa ferramenta útil em investimentos, que necessitem de revisão ao longo do tempo, em que seja necessário analisar as oportunidades estratégicas ao longo do tempo, em que seja importante flexibilizar o projeto em ambiente de incerteza, ou em que seja importante esperar por algum tipo de informação (Mestre, 2010). As opções reais podem ser vistas como uma abordagem estratégica para investimentos futuros, que tem em conta o valor de preservar o direito de fazer escolhas futuras em ambiente de incerteza (Barnett, 2008). Esta incerteza pode ter diversas origens, tais como o mercado, a tecnologia, ou a possível competição. As opções reais permitem executar ações específicas num determinado instante presente ou futuro, e fornecem flexibilidade em mercados onde existe incerteza, adicionando valor ao projeto, quer por ampliação das receitas, quer por diminuição das perdas (Foss e Roemer, 2010).

A teoria das opções reais também é útil para avaliar a alocação de recursos. Sempre que é possível ou necessário integrar novos recursos, está-se perante uma opção real de compra. Essa aquisição tem um determinado preço (preço de exercício), e pode ser executada em qualquer instante futuro. Quanto maior for o valor do recurso, mais atrativa é a opção (Foss e Roemer, 2010). No entanto, se o custo de aquisição for muito elevado, a integração do recurso não é tão atrativa, o que diminui o valor da opção (Foss e Roemer, 2010). Uma empresa é uma coleção de recursos e das suas opções reais inerentes. É necessário integrar estes recursos e respetivas opções no valor da própria empresa. Assim, não se deve ter só em conta os recursos existentes e respetivos valores, mas também as oportunidades futuras e as opções existentes relacionadas com esses recursos. Baseados no valor dos recursos e no valor das opções reais subjacentes, e subtraindo os custos de gestão e manutenção das opções, são tomadas decisões de integrar ou descartar recursos da empresa.

O conceito de opção real foi, inicialmente, introduzido por Myers (1984). Através da correta incorporação dos efeitos do risco e flexibilidade operacional, as opções reais podem levar a concluir que um projeto, cujo VAL tradicional é negativo, pode ser, afinal, rentável, se as opções disponíveis forem geridas de forma ótima (Pennings e Lint, 1997). O valor do projeto, a partir dos métodos

tradicionais, só será semelhante ao dado pela teoria das opções reais, quando a incerteza deixa de existir e o investimento é, efetivamente, feito. Uma decisão de investimento tem algumas características, que se devem ter em conta (Dixit e Pindyck, 1994: 3-25): irreversibilidade (depois da decisão tomada e do investimento feito, esse valor passa a ser um custo efetivo); incerteza (depois do investimento feito e do produto lançado, existem várias fontes de incerteza, como o preço do produto, custos futuros ou taxas de juro, entre outros); e possibilidade de adiamento (é necessário decidir entre lançar mais cedo um produto no mercado, tirando vantagem da antecipação, ou esperar por novas informações que diminuam a incerteza). Esta última característica pode ser vista como a determinação do instante (*timing*) para fazer o investimento ou para tomar algum tipo de decisão. A teoria das opções reais tenta modelar decisões desta natureza, e por isso, é necessário analisar estas características, antes de tomar qualquer decisão. Mesmo depois do investimento inicial, pode mudar-se o curso do projeto, de acordo com o seu desenvolvimento e com o comportamento de mercado. O valor das opções reais, associadas a esta flexibilidade, aumenta o valor do projeto de I&D (Huchzermeier e Loch, 2001). Assim, numa empresa, pode considerar-se um portfólio de opções reais, que podem ser tomadas ao longo da vida de um projeto. À medida que se tomam decisões sobre que opções se devem manter, exercer ou abandonar num período, constrói-se novo portfólio de opções para o período ou fase seguinte. As opções mantidas continuam no período seguinte, as opções exercidas geram novas oportunidades para esse período, e as opções abandonadas deixam esse portfólio (Krychowski e Quélin, 2010).

Os modelos de avaliação baseados na teoria das opções reais têm a vantagem de incorporar, numa só metodologia, várias preocupações por parte dos gestores. Este tipo de modelos tem em conta a incerteza sobre, por exemplo, o sucesso de uma nova tecnologia ou a estratégia seguida por uma empresa competidora. Estes modelos disponibilizam um sistema, que permite analisar e avaliar as opções disponíveis para o projeto (Krychowski e Quélin, 2010).

Krychowski e Quélin (2010) enumeram vários contextos, onde a teoria das opções reais pode ser aplicada: decidir o melhor momento de lançar no mercado um novo produto; desenvolvimento de um novo sistema de tecnologia de informação; investimento sob incerteza, como o investimento num software para equipamento utilizado em minas; ou, mais geralmente, em qualquer projeto de I&D. Existem evidências que as opções reais podem ser uma ferramenta que nem sempre se pode utilizar nas decisões de alocação de recursos. Isto acontece pela dificuldade de implementação de muitos modelos baseados na teoria de opções reais. Esta é uma área que pode, ainda, ser explorada, de forma a encontrar ferramentas de gestão e modelos adequados, que ajudem na alocação de recursos em projetos de I&D.

Para calcular o valor das opções reais, podem utilizar-se diferentes abordagens. A avaliação de um projeto, através de opções reais, necessita, em primeiro lugar, de analisar a flexibilidade operacional com que o projeto se pode deparar. O cálculo do valor das opções possíveis, durante a vida de um projeto, depende do risco associado, bem como dos dados que são conhecidos ou possíveis de conhecer. Existem, pois, diversos fatores de risco, que devem ser incorporados na avaliação. A gestão do risco é feita com base na flexibilidade operacional e a sua modelação deve ser feita da forma mais rigorosa possível, para não levar a resultados erróneos. Mediante também as hipóteses que se assumem para o modelo de avaliação, pode proceder-se ao cálculo do valor das opções reais, de acordo com a abordagem ou procedimento mais adequado.

Assim, nas próximas subsecções, ir-se-ão analisar, respetivamente, a flexibilidade operacional (Secção 2.3.3), o risco e sua modelação (Secção 2.3.4) e as diferentes abordagens para o cálculo do valor das opções reais (Secção 2.3.5).

2.3.3 A flexibilidade operacional

Em projetos de I&D, existem, por norma, muitas fontes de incerteza, o que torna o valor do projeto também altamente incerto. Assim, é importante valorizar as opções, que vão sendo criadas ao longo da vida de um projeto, e utilizar novas informações, que vão chegando, para ajudar a ultrapassar a incerteza existente até então. Ou seja, a gestão do risco num projeto de I&D deve ser feita à medida que o projeto é desenvolvido, já que as fontes de incerteza podem mudar, ou novas informações podem chegar, que ajudem a tomar as melhores decisões, face à flexibilidade existente, isto é, face às opções existentes.

Relativamente à flexibilidade operacional e à incerteza presentes em investimentos, Krychowski e Quélin (2010) consideram que a teoria das opções reais pode ser considerada segundo duas grandes perspetivas: interpretação do contexto e sistema de decisão. A primeira perspetiva inclui as opções que uma empresa pode tomar e o resultado do exercício dessas opções reais. O sistema de decisão, que é uma estrutura de apoio à decisão, pode ajudar as empresas a avaliarem e a estruturarem as oportunidades de investimento.

As opções reais existentes e disponíveis durante a vida de um projeto podem ajudar a flexibilizar esse projeto, permitindo acrescentar valor ao investimento executado. A flexibilidade operacional, que corresponde à capacidade de alteração do rumo do projeto, pode ser definida e descrita a partir das opções reais, que podem ser, efetivamente, tomadas. Em seguida, são descritas algumas opções reais (Copeland e Antikarov, 2001: 5-27).

O momento de entrada no mercado é analisado a partir da opção de adiar, isto é, os gestores podem adiar o investimento, devido à incerteza que possa estar presente. A opção de adiar permite, pois, manter o direito, mas não a obrigação, de atrasar o início de um projeto, e o preço de exercício dessa opção é o montante de investimento necessário para o iniciar. Uma aplicação desta opção pode ser encontrada em Carlsson *et al.* (2007). Existe, também, a opção de crescimento que ocorre quando é feito um investimento menor, mas que pode criar novas oportunidades para a empresa resolver alguma incerteza, ajudando na definição de estratégias futuras. A generalidade da literatura tem vindo a concluir que existe uma relação negativa entre o aumento da incerteza e o início de um projeto (Folta e O'Brien, 2004). No entanto, Folta e O'Brien (2004) argumentam que tal se deve, em parte, ao facto de se ignorar o impacto das opções de crescimento. De acordo com estes autores, quando se tem em consideração a existência conjunta de opções de adiamento e crescimento, então, para níveis elevados de incerteza, o valor da opção de crescimento sobrepõe-se ao valor da opção de adiamento, levando a uma relação positiva entre a incerteza e o início de um projeto. A opção de expandir permite, pagando um determinado preço, aumentar as operações e a dimensão do projeto. Existe também a opção de estender a vida de um projeto, pagando um determinado preço. Uma vez começado um projeto, existe a opção de abandono por um determinado montante, cujo valor, em geral, diminui com o tempo. Pennings e Lint (1997) analisam a opção de produzir ou não um produto desenvolvido a partir de projetos de I&D, que posteriormente aplicam à empresa Philips. A opção de contrair permite vender uma parte do projeto por um preço fixo. As opções de troca são portfólios de opções, que permitem mudar a forma de executar determinadas operações (por exemplo, usar diferentes *inputs* ou produzir diferentes *outputs*). Existem ainda opções de opções, que são as opções compostas. Quando existem diversas fontes de incerteza, as opções daí resultantes são chamadas *rainbow options*. A aplicação e estudo de diversos tipos de opções podem ser encontrados em Trigeorgis (1997).

Krychowski e Quélin (2010) referem algumas das opções reais mais comuns em investimentos: a opção de crescimento (novos investimentos podem criar novas oportunidades para a empresa); a opção de adiamento (perceber qual o melhor momento para investir ou lançar um novo produto no mercado); e a opção de troca (pode ser melhor mudar a tecnologia, ou mudar de processo de desenvolvimento, etc.). A teoria das opções reais ajuda no estudo da relação entre o desempenho da empresa e a presença de opções nessa empresa, isto é, ajuda a perceber se as empresas capturam o valor das opções reais, e de que forma.

Em projetos que sejam estruturados em fases, as opções compostas são úteis, pois no fim de cada fase, existe a opção de parar o projeto ou de avançar para a fase seguinte. É, portanto, uma opção que depende das opções tomadas na fase anterior (opção de opção ou de opções). Outra razão para decompor os projetos de I&D em diferentes fases é a existência de várias fontes de incerteza, tornando-se necessário modelar os diversos fatores de risco associados. A avaliação destes projetos de I&D, assim estruturados, também é feita a partir dessa estrutura faseada. Assim, um projeto com

múltiplas fases pode ser visto como uma sequência de opções reais e modelado a partir de opções reais compostas (Cassimon *et al.*, 2011).

A estrutura de um projeto de I&D em fases permite flexibilizar a estratégia e obter informação de forma a diminuir a incerteza. Apesar de, por vezes, se poder conseguir economizar nos custos totais quando o projeto é desenvolvido de uma só vez, pode ser preferível desenvolvê-lo e, consequentemente modelá-lo e avaliá-lo faseadamente. Repare-se que, desenvolvendo o projeto em fases, existe mais liberdade em responder a variações devidas às diversas fontes de incerteza que poderão estar associadas ao projeto. Ou seja, um projeto de I&D desenvolvido por fases torna-se mais flexível. Sendo as opções reais uma possibilidade de tirar partido da flexibilidade, a teoria das opções reais incentiva a preservar a flexibilidade operacional e a alterar o projeto de investimento, de acordo com as circunstâncias (McGrath *et al.*, 2004; Krychowski e Quélin, 2010). Lint e Pennings (1998) estudam o valor da opção de entrar no mercado, em cada fase do desenvolvimento de um projeto de I&D, já que esta flexibilidade adiciona valor ao projeto. O valor das opções presentes nos investimentos em I&D é fortemente determinado pela oportunidade de entrar ou não no mercado, e pela informação relativa ao mercado e tecnologia que vai aparecendo.

Muitos modelos encontrados na literatura estruturam os projetos de I&D em diferentes fases, pois permitem rever decisões, tratar a incerteza e criar valor através da flexibilidade operacional, isto é, avaliando as diferentes opções que podem ser tomadas. A título de exemplo, Santiago e Bifano (2005) avaliam projetos de I&D na área oftalmológica, desde o protótipo até à introdução no mercado, dividindo o projeto em diferentes fases, e onde no fim de cada fase, existem as opções de continuar, melhorar ou abandonar. Estas opções são avaliadas de acordo com diferentes variáveis, tais como desempenho, expectativas de mercado, custos, entre outros. Este modelo baseou-se em Santiago e Vakili (2005) e em Huchzermeier e Loch (2001), que também consideraram, na sua avaliação, que os projetos de I&D são decompostos em fases e que, em cada uma delas, existem as opções de abandonar, continuar ou melhorar.

Para avaliar a flexibilidade num projeto, Kort *et al.* (2004) comparam duas formas de executar um projeto: fazer o investimento total do projeto, isto é, investir no projeto inteiro ou fazer esse investimento faseadamente (considerando duas fases de investimento). Os autores assumem que a empresa é neutra em relação ao risco, que atua continuamente no tempo, num horizonte infinito, e que a taxa de atualização é constante ao longo do tempo. Mediante estas hipóteses e a partir de uma função custo, que representa o valor a pagar para dividir o projeto em duas fases, os autores determinam um valor crítico para esse custo. Abaixo desse valor crítico, é preferível fazer o investimento sequencial, e acima desse valor, o investimento total é preferível. Apesar dos autores identificarem uma situação, em particular, em que o valor do VAL do investimento total é superior ao VAL do investimento faseado, admitem que esta situação não é, em geral, verificada. Um aumento do valor crítico implica

um aumento no valor da flexibilidade do investimento faseado (e vice-versa), já que só para um valor maior é que o investimento total compensa. Em relação à opção de adiamento, uma maior incerteza favorece mais o investimento total do que o investimento sequencial. Este efeito é ampliado pelo facto do investimento sequencial levar a um VAL maior (já que inclui a opção de investir na segunda fase) e pelo facto do valor do VAL no investimento total se manter.

Para incorporar a flexibilidade operacional e fatores de risco, o valor do projeto pode ser definido como uma soma entre o VAL tradicional e o valor das opções existentes ao longo da vida do projeto (Panayi e Trigeorgis, 1998). Assim, o valor da flexibilidade será dado pela diferença, em valor, entre uma gestão ativa do projeto (isto é, considerando flexibilidade operacional) e uma gestão passiva do projeto, que assume que os decisores/gestores não irão alterar decisões durante o desenvolvimento do projeto (Santiago e Bifano, 2005). Para avaliar um projeto (de I&D), deve considerar-se, então, não só o valor dado pelos métodos tradicionais, mas também a flexibilidade operacional e incerteza a que estes projetos estão sujeitos. Devido à incerteza e à possibilidade de flexibilizar o projeto, o valor esperado inicialmente para os *cash flows* pode ser muito diferente do realizado (Yeo e Qiu, 2003). Para Miller e Park (2002), deve começar-se por considerar o valor para o projeto a partir de métodos tradicionais, e depois analisar as opções existentes e fazer uma avaliação. Ou seja, os métodos tradicionais e a análise das opções reais devem complementar-se. Repare-se que métodos tradicionais, como o VAL, assumem uma estratégia estática, a partir do momento em que o investimento é feito. Isto é, o cálculo tradicional do VAL pode ser visto como a base de um modelo de avaliação.

A flexibilidade operacional permite gerir o risco associado ao projeto. Uma das dificuldades será definir a resposta aos fatores de risco, isto é, cada fator de risco terá que ser estudado de forma a perceber qual a ação a tomar (Huchzermeier e Loch, 2001). Esta incerteza, aliada à flexibilidade operacional, pode aumentar o valor do projeto, apesar de existirem casos em que pode acontecer o contrário (Huchzermeier e Loch, 2001): se a incerteza operacional (por exemplo, no desempenho do produto ou nos requisitos de mercado) for resolvida antes da tomada de decisão e os custos e receitas já incorreram, a flexibilidade pode ajudar a proteger o projeto de algum tipo de quebra. Por outro lado, se esta incerteza operacional for resolvida depois das decisões tomadas, uma maior variabilidade reduz a capacidade de reagir, e portanto, reduz o valor da flexibilidade.

A conclusão anterior alerta para o facto de, em geral, se afirmar, que uma maior incerteza nos valores esperados de um investimento aumenta o valor das opções reais, e por conseguinte, da flexibilidade operacional, obrigando a que compromissos sejam adiados, de forma a mantê-la. Existe evidência de que uma maior incerteza pode diminuir o valor de uma opção, se estiver disponível um projeto “seguro” alternativo (Huchzermeier e Loch, 2001). É assim, importante, perceber quais os fatores de risco, cuja flexibilidade operacional possa permitir a criação de valor no projeto. Para Huchzermeier e Loch (2001), os fatores em que a incerteza aumenta o valor da flexibilidade operacional no projeto são

os preços de mercado e o orçamento previsto, isto é, um aumento da incerteza/variabilidade destes fatores faz com que se torne mais vantajoso manter a flexibilidade e adiar compromissos. Noutros fatores, como sendo o desempenho do projeto, o desempenho requerido pelo mercado e a calendarização do projeto, um aumento da incerteza pode diminuir a probabilidade da flexibilidade operacional no projeto ser exercida, o que reduz o seu valor esperado, isto é, para os fatores acima mencionados, a incerteza não provoca um aumento no valor do projeto.

O valor do projeto pode aumentar, adiando-se o seu início ou o início de alguma das suas fases. Este adiamento preserva a flexibilidade operacional, já que podem chegar novas informações. Estas informações podem também ser procuradas pelos próprios gestores. A título de exemplo, se a fonte de incerteza é de ordem técnica ou de desempenho, deve haver uma capacidade para implementar e desenvolver novos testes e/ou protótipos, sempre que dificuldades técnicas surjam. Por outro lado, se a incerteza está no comportamento do mercado, o produto/projeto pode ter que ser adaptado, de forma a satisfazer as necessidades dos destinatários (Huchzermeier e Loch, 2001). Ou seja, para resolver a incerteza de mercado, podem ser apresentados protótipos, de forma a obter informações sobre os requisitos para o produto final. Assim, em qualquer circunstância de incerteza, deve tentar manter-se a flexibilidade operacional até as informações necessárias serem obtidas, e antes dos maiores custos e/ou receitas ocorrerem.

Em projetos de I&D, em que existe incerteza e se pretende criar um novo produto, pode também avaliar-se a flexibilidade de desenvolvimento. Thomke e Reinertsen (1998) avaliaram a flexibilidade de desenvolvimento, definindo-a como função do custo económico adicional, ao modificar o desenvolvimento de um produto, em resposta a fatores externos (necessidades dos clientes, por exemplo) ou internos (descoberta de uma melhor tecnologia, por exemplo). Quanto maior for esse custo, menor será a flexibilidade de desenvolvimento. Este custo económico depende do custo do desenvolvimento do produto, do custo unitário do produto, do desempenho do produto e da calendarização prevista para o desenvolvimento. Os autores concluem que esta flexibilidade de desenvolvimento pode ser melhorada, escolhendo tecnologias de desenvolvimento flexíveis, explorando abordagens de gestão do projeto, que permitam um custo menor, quando se altera o processo de desenvolvimento, e fazendo escolhas estruturais no desenvolvimento do produto, que permitam, se possível, com mais facilidade, melhorar o curso do desenvolvimento.

Apesar das dificuldades que possam surgir, a teoria das opções reais permite avaliar melhor as decisões de investimento em contexto de incerteza. A avaliação, a partir de opções reais, pode induzir a empresa a investir num projeto com maior risco, já que o valor das opções, em geral, cresce com a incerteza, permitindo criar valor, através da flexibilização do projeto.

2.3.4 Modelação do risco em projetos de I&D

Para avaliar projetos de investimento em I&D, é necessário modelar o risco, para assim conseguir determinar o valor das opções, e a partir da flexibilidade operacional, conseguir estabelecer uma estratégia para o projeto. A modelação do risco deve começar a ser elaborada, logo na parte inicial de um projeto. Exemplos de fatores de risco são: as quantidades de material necessário ou produzido podem ser desconhecidas; a resposta do mercado e dos consumidores, pela introdução de um novo produto no mercado, pode ser incerta; o custo de um investimento inicial, por exemplo numa nova tecnologia, pode também ser desconhecido; os custos totais do projeto podem variar; podem também surgir dificuldades técnicas durante a execução do projeto.

Em projetos de investimento, em que se consideram opções reais, existem diferentes riscos que se devem considerar. Pode separar-se o tipo de risco como risco privado e risco de mercado. O risco privado corresponde a riscos que não são possíveis de replicar através de transações em mercados de capitais, como sendo a calendarização de um projeto, o atraso numa construção, o sucesso do projeto, as quantidades necessárias de uma matéria-prima, a dificuldade tecnológica, etc. O risco de mercado corresponde à possibilidade de ocorrência de perdas ou ganhos resultantes da flutuação dos valores de mercado, provocados, por exemplo, pela flutuação dos preços de ações, de taxas de juro, taxas de câmbio, entre outros. Pode haver vantagem em tratar as fontes de incerteza de forma separada. Relativamente ao mercado, a incerteza pode ser resolvida ao longo do tempo, enquanto outro tipo de incerteza pode ser resolvida num só momento, como sendo o caso da incerteza técnica. Um bom tratamento da incerteza leva à construção de modelos mais realistas e que incorporam melhor os *cash flows* futuros.

Em seguida, apresentam-se algumas modelações possíveis de risco associadas a diferentes fontes de incerteza.

Os riscos associados a preços, custos, ou valor do projeto podem ser modelados, separadamente, a partir de movimentos brownianos geométricos (Cortazar *et al.*, 2008; Cassimon *et al.*, 2011). Por exemplo, Perlitz *et al.* (1999) utilizam um movimento browniano para caracterizar o valor de um projeto de I&D na área farmacêutica. Lee e Paxson (2001) usam o mesmo movimento para caracterizar o valor de um projeto na área do comércio eletrónico e Lint e Pennings (2001) na área eletrónica (Philips).

Um dos pressupostos na modelação do valor de um projeto, a partir de um movimento browniano geométrico, é que as incertezas, referentes ao projeto, vão sendo resolvidas ao longo do tempo, e isto verifica-se também na evolução do valor de mercado das empresas. No entanto, em muitos projetos, existem fatores de risco, externos ao próprio projeto, que também influenciam o seu valor e que não se enquadram no movimento browniano geométrico. Entre eles, estão as incertezas tecnológicas, a

existência de competidores, etc. A resolução destas incertezas pode não ser conseguida ao longo do tempo, mas antes, quando existe disponibilidade de informação (por exemplo, se um novo medicamento é ou não aceite no mercado). Ora, para explorar a volatilidade de um projeto, estes fatores de risco devem ser contemplados. Uma das formas será manter esses fatores de risco separados, e modelar a sua interação e efeito sobre o valor do projeto. Quando existem muitas fontes de incerteza, pode ser útil estudar o efeito dos riscos correspondentes no valor do projeto. A título de exemplo, Huchzermeier e Loch (2001) estudam o efeito de cinco fatores de risco no valor de um projeto de I&D: valores de mercado (custos ou receitas); custos do projeto, que podem variar devido a fatores do próprio projeto ou empresa; desempenho, correspondendo à incerteza de ordem técnica; resposta do mercado, isto é, incerteza quanto ao desempenho esperado pelo mercado; e calendarização (atrasos ou antecipações podem influenciar o valor do projeto).

Além dos movimentos brownianos, existem outros tipos de movimentos, como sendo movimentos de reversão para a média, que podem caracterizar, por exemplo, preços de produtos ou custos fixos (Copeland e Antikarov, 2001: 245-269). Este movimento pressupõe que exista um valor médio (fixo), em volta do qual o valor da variável, que representa o fator de risco, varia. Este movimento depende também de uma taxa, que corresponde à velocidade a que os valores da variável tendem a retomar ao valor fixo, sempre que se desviam deste. Schwartz e Moon (2000) utilizam um movimento de reversão para a média para modelar a taxa esperada de crescimento das receitas, numa empresa de Internet. Biekpe *et al.* (2001) utilizam um processo de reversão à média para caracterizar *cash flows* líquidos instantâneos.

Outro processo muito utilizado é o de Poisson, que é caracterizado pela chegada pontual de novas informações, que podem fazer aumentar ou diminuir valores, consoante a natureza dessa informação. Exemplos deste tipo de informação são a chegada de novas tecnologias, falhas técnicas ou alguma reação por parte do mercado ou competidores. Brach e Paxson (2001) integram estes processos na modelação do valor de um projeto na área farmacêutica, para a descoberta de um novo medicamento.

Em seguida, descrevem-se alguns processos, já utilizados, para descrever os custos, receitas, valor do projeto e incerteza tecnológica.

Os custos num projeto de I&D podem ser incertos e existem vários processos estocásticos que os podem caracterizar. Por exemplo, Lee e Paxson (2001) utilizam um processo de difusão para caracterizar os custos em fases de projetos de I&D. Nestes projetos, a incerteza também está presente nos custos remanescentes, desde um determinado momento até à finalização do projeto. A modelação deste fator de risco pode ser feita a partir de processos de difusão controlados (Pindyck, 1993; Farzin *et al.*, 1998; Schwartz e Zozaya-Gorostiza, 2003; Whalley, 2011). Para além dos custos, há modelações feitas para os *cash flows* futuros, que integram os riscos associados. Pennings e Sereno

(2011) utilizam um processo estocástico, que combina um processo de difusão com um processo de Poisson, para melhor incorporar as fontes de incerteza. Assim, a parcela do processo de Poisson, incluída na modelação, representa a possibilidade de ocorrer algum acontecimento catastrófico, e a parcela da difusão representa o risco inerente à própria empresa, e que é definida a partir de um movimento browniano.

Ainda relativamente aos custos, Schwartz e Moon (2000) assumem que os custos têm duas componentes: uma relativa aos custos dos bens vendidos, que é proporcional às receitas; e outra relativa a outros custos, que resulta da soma entre uma parcela fixa com outra também proporcional às receitas.

As receitas que um projeto produz também podem estar sujeitas a incerteza. Para modelar o valor que uma empresa vai receber no fim do projeto, podem utilizar-se processos estocásticos, já que esse valor depende da forma como o projeto corre e de vários fatores de incerteza, presentes até à sua finalização. O valor a ser recebido no final do projeto pode ser modelado, em cada instante, por movimentos brownianos geométricos, isto é, por processos estocásticos, cuja(s) componente(s) aleatória(s) possa(m) ser definida(s) por incrementos de Gauss (estes incrementos partem da distribuição normal *standard*). Schwartz e Moon (2000) assumem que a variação das receitas satisfaz uma equação diferencial estocástica, baseada num movimento browniano geométrico, que depende da sua taxa esperada de crescimento (que segue um processo de reversão à média), da variabilidade dessa taxa e de uma variável aleatória com distribuição normal *standard*. Posteriormente, estes autores ainda introduzem na modelação das receitas preços de mercado de outros fatores de risco.

O valor do projeto pode também ser definido por processos diferentes do tradicional movimento browniano geométrico. Schwartz e Moon (2000) consideram que o valor do projeto é função das receitas, do crescimento esperado das receitas, do tempo e de outras componentes, que dependem dos custos. Os autores aplicam o Lema de Itô para derivar o valor do projeto (ou da empresa). Este modelo também é utilizado para definir a volatilidade do valor do projeto. Schwartz e Zozaya-Gorostiza (2000; 2003), por outro lado, utilizam um movimento browniano geométrico para definir o valor do ativo/projeto. Este processo estocástico depende da tendência/taxa que reflete as alterações do valor ao longo do tempo, do desvio padrão instantâneo das variações do valor do ativo e do incremento de um processo de Wiener. Existem ainda autores, como Pennings e Lint (1997), que utilizam processos de Poisson para caracterizar o valor do projeto, de forma a incorporar alterações durante o projeto, como sendo inovações tecnológicas ou ações de competidores.

Segundo Copeland e Antikarov (2001: 245-269) existem duas possibilidades para modelar o risco associado a certas fontes de incerteza: utilizando dados históricos, assumindo que o comportamento das variáveis, que modelam o risco correspondente, é semelhante daí para a frente; ou utilizando

estimativas dadas pelos gestores/especialistas do projeto. A partir de dados históricos, e utilizando simulação Monte Carlo, é possível inferir uma distribuição para esses dados (Paxson, 2003). Existem mais possibilidades de utilização de dados históricos. Por exemplo, na área farmacêutica, Nicols (1994) utiliza dados históricos sobre a variância de um índice da área da biotecnologia, como um dado a inserir no modelo. Caso seja possível, é útil utilizar os dados históricos da própria empresa, isto é, utilizar os dados de projetos de I&D, que já tenham decorrido ou que estejam a decorrer (Lint e Pennings, 2001). No entanto, se um projeto for muito inovador, pode não ser possível utilizar dados históricos para modelar o risco de certas fontes de incerteza. No entanto, em certos casos, os dados históricos podem fornecer um valor aproximado para esse risco (Perlitz *et al.*, 1999). Pode, também, utilizar-se informação obtida a partir dos gestores ou especialistas da área onde o projeto se insere. Podem ser feitas perguntas aos gestores para, juntamente com dados históricos, inferir probabilidades de sucesso ou a distribuição do valor do projeto (Cassimon *et al.*, 2011). Perlitz *et al.* (1999) referem que, em última análise, pode utilizar-se o valor que reflete o preço de mercado do risco, inferido, por exemplo, a partir de modelos como o CAPM (Capital Asset Pricing Model). Schwartz e Moon (2000) apresentam um modelo de avaliação, que necessita de muitos parâmetros. Eles sugerem que, para estimar os parâmetros que não são facilmente observáveis, se utilizem dados históricos, opinião de especialistas, projeções futuras, entre outros.

Torna-se, também, importante modelar o risco relativo à incerteza tecnológica. Existem diversas formas de o fazer. Repare-se que a incerteza tecnológica existe quando uma empresa tem que decidir se deve investir numa nova tecnologia, ou se deve esperar que apareça uma melhor. Huisman e Kort (2002) referem que, se antigamente as decisões de investimento em novas tecnologias eram apenas relativas à escolha do melhor momento para adotar uma dada tecnologia, hoje em dia, com a quantidade e velocidade de chegada de novas tecnologias, o importante é decidir também sobre qual a tecnologia que se deve adotar. O risco associado à incerteza tecnológica num projeto pode não ser resolvido continuamente. A sua modelação pode ser feita a partir de processos de Poisson, isto é, a partir de “saltos” que possam ocorrer no valor do projeto. Esta técnica é utilizada, por exemplo, no estudo de novos medicamentos, em que, se um candidato a medicamento falhar, o valor do projeto torna-se nulo e esse projeto é abandonado (Pennings e Sereno, 2011). Em relação ainda à tecnologia, Brach e Paxson (2001) utilizam processos de Poisson para descrever as descobertas, que vão sendo feitas na fase de desenvolvimento, já que estas podem ocorrer em certos pontos do tempo. Note-se que estes processos podem estar também contemplados em modelos estocásticos, que explicam o valor do projeto, pois traduzem situações momentâneas, que podem influenciar todo o projeto, quer de forma positiva, quer de forma negativa. Exemplos destas situações são, para além das dificuldades técnicas, por exemplo, a entrada de uma nova tecnologia que acelere o desenvolvimento, ou a entrada de um competidor no mercado.

Ainda referente à tecnologia, a modelação do progresso tecnológico pode ser feita a partir de um movimento browniano (Grenadier e Weiss, 1997). A incerteza no progresso tecnológico afeta as decisões de investimento, porque uma empresa, que invista hoje numa tecnologia, corre o risco de, amanhã, aparecer uma tecnologia melhor (Huisman e Kort, 2004). Este facto pode ser um incentivo para atrasar o investimento. Como se viu, a modelação da chegada de novas tecnologias pode ser estocástica e uma empresa, por um lado, pode atrasar o investimento, mas por outro, pode ser ultrapassada por outra empresa, que busque o mesmo tipo de tecnologia.

Em termos tecnológicos, pode existir a possibilidade de ocorrerem falhas técnicas, que impossibilitem a continuação do projeto. Este tipo de possibilidade de acontecimento catastrófico está presente em muitos projetos de I&D, na medida em que estes projetos são, muitas vezes, de longa duração (Miltersen and Schwartz 2004). Este tipo de acontecimentos é, em norma, definido a partir de distribuições de Poisson (Schwartz e Zozaya-Gorostiza, 2003; Schwartz, 2004; Cassimon *et al.*, 2011; Pennings e Sereno, 2011).

Os fatores de risco utilizados na avaliação de um projeto de I&D devem ser bem definidos e modelados para, posteriormente se poder fazer a avaliação do valor do projeto. Esta avaliação depende do valor das opções reais. A determinação do valor das opções, bem como do valor do projeto, pode ser feita seguindo diferentes abordagens.

2.3.5 Abordagens de avaliação

Para determinar o valor das opções reais, existem diferentes abordagens possíveis de avaliação. A utilização de cada uma delas depende, em parte, da informação existente, e também das condições subjacentes à utilização de cada abordagem.

As principais abordagens podem ser agrupadas em equações diferenciais com solução analítica de forma fechada, ou com solução numérica, *lattices* e estruturas com características semelhantes, e simulação. Ou seja, existem abordagens que utilizam tempo contínuo, e outras, tempo discreto.

Para incorporar a flexibilidade operacional e a incerteza presentes em projetos de I&D, podem utilizar-se árvores de decisão, que utilizam tempo discreto. Esta técnica permite calcular os *cash flows* esperados, de forma mais correta, e tem em conta o risco e as opções existentes. Em geral, as árvores de decisão permitem modelar sequências de decisões perante acontecimentos incertos. Para as diferentes sequências, é calculado o valor do projeto, o que permite selecionar a melhor combinação de decisões. Em termos de avaliação, a análise começa pelas folhas da árvore e, em cada nó, calcula-se o valor esperado para o projeto. A melhor decisão é aquela que produz um maior valor esperado. A origem das árvores de decisão está na teoria da decisão normativa (Savage, 1954). Esta técnica permite

estruturar as possibilidades de intervenção ao longo do tempo e aplica o princípio da utilidade (ou valor) máxima esperada.

Para calcular o valor das opções reais a partir de árvores de decisão, podem utilizar-se duas abordagens: a abordagem da carteira de réplica e a abordagem das probabilidades neutrais face ao risco.

A abordagem da carteira de réplica baseia-se na construção de uma carteira de ativos transacionados, estática ou alterada dinamicamente, que replica, em todas as situações, o valor do projeto (Godinho, 2003). No caso das opções reais, pode não ser possível transacionar o ativo subjacente no mercado. Nesta situação, o valor da carteira é calculado a partir do preço que o ativo teria, se fosse transacionado. Assim, este valor corresponderá ao valor atual do projeto (Godinho, 2003).

A abordagem das probabilidades neutrais face ao risco baseia-se no princípio de que o preço do ativo é igual num mundo em que os investidores são indiferentes ao risco, ou num mundo em que existam diferentes atitudes face ao risco, mas em que seja possível cobrir o risco, utilizando o mercado de capitais. Considera-se que o preço do ativo é função do preço de outros ativos transacionados, que permitem eliminar o seu risco (Godinho, 2003). A atualização dos valores das opções é feita a partir da taxa de juro sem risco, e as probabilidades utilizadas na árvore de decisão são as probabilidades que ocorreriam num mundo de investidores indiferentes ao risco.

Apesar de analisar diferentes possibilidades de intervenção ao longo do tempo, a construção das árvores pode tornar-se numa tarefa morosa e complicada, cujo resultado pode não ser compreensível nem organizado, quando se tratam de problemas grandes e complexos (Raiffa, 1968). Outro problema das árvores de decisão é o não tratamento de diferentes riscos a que um projeto pode estar sujeito.

Uma alternativa às árvores de decisão é a utilização de *lattices*. Quer nas árvores de decisão, quer nas *lattices* (estruturas analisadas em seguida), seria, em princípio, necessária a determinação de um ativo subjacente, que pode ser considerado como sendo o próprio projeto sem opções. Considerando que os mercados são completos, existe, no mercado, uma carteira de ativos transacionados, que replique a rentabilidade do projeto. Esta carteira é denominada por ativo gémeo (Godinho, 2003). No entanto, para avaliar as opções reais, o mais importante não será qual o ativo gémeo, mas sim qual o seu valor. Como o valor da carteira terá que ser igual ao valor do projeto sem opções, este último pode ser considerado como o valor do ativo gémeo (Copeland e Antikarov, 2001: 85-117).

As *lattices* são estruturas em forma de árvore ou rede, que assumem que o valor do ativo segue, em geral, um processo estocástico discreto, multiplicativo e multinomial (Miller e Park, 2002). Existe um valor inicial para o projeto e, ao longo dos períodos, o valor pode subir num determinado fator ou descer num determinado fator, de acordo com certas probabilidades. Como a ordem das subidas e

descidas não tem impacto, pode refazer-se a árvore, de forma a simplificá-la, através da recombinação de caminhos, dando, assim, origem à *lattice*. No caso explicado, como só foram mencionados dois fatores (um de subida, outro de descida), a *lattice* é definida como binomial. As *lattices* binomiais foram introduzidas por Cox *et al.* (1979) e calculam os futuros *cash flows*, em cada ponto, a partir de dois movimentos (subida e descida) e tendo em conta a variabilidade do mercado. O processo para avaliar um projeto, usando *lattices*, pode ser definido da seguinte forma: calcula-se o valor atual do projeto sem flexibilidade; modelam-se as incertezas a partir de *lattices*; identifica-se e incorpora-se a flexibilidade operacional; e, por fim, procede-se ao cálculo do valor do projeto com opções reais. O valor das opções reais é determinado de forma recursiva, começando a análise a ser feita do fim da rede para o seu início. Esta representação é intuitiva, pode ser facilmente interpretada e pode conter diferentes tipos de opções. A utilização de *lattices* binomiais pode ser encontrada em Copeland e Antikarov (2001) para modelar opções em projetos de I&D, decompostos em duas fases. Também Jäggle (1999) utiliza uma estrutura em árvore com opções, a partir de um modelo binomial para estudar o desenvolvimento de um novo medicamento (Schwartz e Zozaya-Gorostiza, 2000). Özogul *et al.* (2009) utilizam um sistema de avaliação, baseado em opções reais para avaliar investimentos num sistema de informação hospitalar, e como método de avaliação, utilizam *lattices*. No entanto, na utilização de *lattices*, se se considerarem muitas ramificações ou pontos no tempo, o tamanho da rede que representa a *lattice* é muito grande, o que pode dificultar o processo de avaliação. As *lattices* incorporam a flexibilidade, que se traduz em diferentes alternativas durante o desenvolvimento de um projeto. Os ramos de cada nó podem representar as diferentes alternativas, num determinado ponto do projeto. No entanto, as alternativas existentes podem ser em número demasiado elevado, para poderem estar integradas na *lattice*. Trigeorgis (1997: 305-337) refere, por exemplo, que um nó de decisão pode conter muitos valores intermédios, o que pode não ser possível traduzir na *lattice*. Por último, se o projeto de investimento tiver um desenvolvimento complexo, pode tornar-se muito difícil construir essa *lattice*. Outra limitação das *lattices* é a possibilidade de existirem vários fatores de risco, pelo que pode ser difícil a sua construção (Stentoft, 2004).

Se o número de intervalos utilizado numa *lattice* binomial for muito grande, e se assumir que o valor do ativo segue uma distribuição lognormal, o valor das opções europeias converge para a fórmula de Black-Scholes (Godinho, 2003), e o preço do ativo segue um movimento browniano geométrico (Copeland e Antikarov, 2001: 193-218). Repare-se que pode ser mais realista assumir que o valor do ativo se altera continuamente no tempo, e por conseguinte, definir uma distribuição contínua de probabilidade para esse valor.

O cálculo do valor das opções reais, considerando tempo contínuo, depende se se está a considerar opções europeias ou americanas e do processo que define esse valor. Nas opções europeias, pode, como foi referido, utilizar-se a equação Black-Scholes, desde que o preço do ativo subjacente siga uma

distribuição lognormal. Esta equação é já uma solução de forma fechada. Em seguida, apresentam-se algumas soluções de forma fechada para calcular o valor de opções.

As soluções analíticas de forma fechada incluem as equações de Black-Scholes (Black e Scholes, 1973), Margrabe (Margrabe, 1978), Geske (Geske, 1979) e Carr (Carr, 1988). A equação de Black-Scholes é utilizada para opções de compra europeias, e para opções de adiamento, abandono e crescimento (Miller e Park, 2002). A utilização desta equação pode tornar-se difícil, pois existem vários pressupostos subjacentes, que podem ser difíceis de admitir no estudo de um caso real, tais como o facto do valor do ativo seguir uma distribuição lognormal. A utilização desta equação pressupõe que existe apenas uma fonte de incerteza, que o preço de exercício é conhecido e constante, e que a variabilidade é constante ao longo do tempo. Considera apenas um ativo, e os parâmetros do processo estocástico que o caracteriza (movimento browniano geométrico), bem como o seu preço de mercado, são conhecidos. Panayi e Trigeorgis (1998) utilizam opções reais para avaliar um projeto na área das tecnologias de informação, a partir de duas fases: a primeira desenvolve um sistema de informação, e a segunda trata da aplicação desse sistema. O valor do projeto inclui o valor da opção de crescimento presente na segunda fase. Esta fase é considerada como uma opção de compra europeia (tempo de exercício determinista e conhecido), que pode ser calculada a partir da equação Black-Scholes. Em termos de aplicação em I&D, Faulkner (1996) indica esta equação para calcular o valor das opções em projetos de I&D, decompostos em duas fases. No entanto, e ainda em aplicação a I&D, Datar e Mathews (2004) apresentam um método para avaliar projetos de I&D, equivalente à fórmula Black-Scholes, mas em que não necessitam de assumir que o valor do projeto segue uma distribuição lognormal.

A equação de Margrabe (1978) pode ser utilizada em opções de troca de um ativo por outro, e a principal diferença para a equação de Black-Scholes é que a equação de Margrabe (1978) define o preço de exercício da opção como estocástico (Miller e Park, 2002). Kumar (1999) utiliza a equação de Margrabe (1978) para quantificar o valor fornecido pelos sistemas de apoio à decisão em vários cenários de decisão, como comércio de produtos de consumo e marketing (Schwartz e Zozaya-Gorostiza, 2000). Os resultados foram comparados com os obtidos, utilizando Black-Scholes (Schwartz e Zozaya-Gorostiza, 2000). Também Lee e Paxson (2001) utilizam a equação de Margrabe (1978) para a avaliação de opções presentes, nas fases de I&D. Para tal, os autores assumem alguns pressupostos para considerarem as opções como europeias.

O modelo de Geske (1979) é utilizado para opções compostas com preços de exercício deterministas. Este modelo é utilizado em decisões de investimento sequenciais, ou seja, é muito utilizado em projetos de I&D, tão frequentemente decompostos em múltiplas fases. A título de exemplo, Perlitz *et al.* (1999) aplicam uma adaptação deste modelo para avaliar opções compostas num projeto, que envolve a descoberta de um novo medicamento. A equação de Carr (1988) define uma opção

composta, mas com preço de exercício estocástico (Miller e Park, 2002). Lee e Paxson (2001) utilizam todas as equações descritas atrás para comparar e contrastar os diferentes resultados. Existem ainda generalizações do modelo de Geske (1979), que, em vez de considerar uma opção composta com duas opções, consideram opções compostas com n opções (Cassimon *et al.*, 2004). Esta generalização pode ser utilizada em projetos de I&D na área farmacêutica (Cassimon *et al.*, 2011).

O modelo de Carr (1988) permite avaliar opções de troca sequenciais e Lee e Paxson (2001) referem-no como mais realista na avaliação de projetos de I&D, pois consideram que esses projetos são desenvolvidos em duas fases. O modelo de Carr (1988) integra elementos de opções compostas presentes no modelo de Geske (Geske, 1979), e elementos das equações de Margrabe (1978) para opções de troca sequenciais europeias. O modelo assume que os preços de exercício são estocásticos com distribuições normais bivariadas. Lee e Paxson (2001) integram alguns aspetos de opções americanas no modelo de Carr (1988), considerando que os custos totais de desenvolvimento podem ocorrer num instante pertencente a um intervalo de tempo, e não num instante determinista.

As opções reais em projetos de investimento como os de I&D são, no entanto, em geral, americanas (sem data fixa para o exercício da opção) e em tempo contínuo, pelo que o seu cálculo tem que ser feito de forma diferente. O valor destas opções pode ser calculado a partir equações diferenciais com derivadas parciais. No entanto, obter soluções analíticas fechadas destas equações ou mesmo conseguir construir tais equações pode ser uma tarefa complicada. Utilizar técnicas numéricas ou aproximações numéricas pode ser uma alternativa. Por exemplo, pode definir-se, discretamente, as equações estocásticas, que definem variáveis de estado (receitas, custos, etc.) e utilizar simulação. Como estas equações são recursivas, partindo de um valor inicial, pode construir-se um caminho com a evolução dos valores, ao longo do tempo. Se se simular um número grande de caminhos, pode obter-se uma aproximação para os valores dessas variáveis. Esta modelação pode ser encontrada em Schwartz e Moon (2000).

A simulação é, assim, uma alternativa para o cálculo do valor das opções reais. Os modelos de simulação permitem a representação de sistemas reais, pois permitem responder a questões do tipo “e se?”. Um grande número de iterações num modelo de simulação, com diferentes parâmetros ou variáveis, permite obter distribuições de probabilidade para as variáveis de *output* e bons valores para as variáveis de decisão (Heidenberger e Stummer 1999). A simulação Monte Carlo define distribuições de probabilidade para as variáveis/elementos estocásticos resultantes dos projetos de I&D: a simulação de Monte Carlo parte da modelação matemática para definir a forma como o valor das variáveis relevantes varia, tendo em conta as interdependências entre diferentes variáveis e entre diferentes momentos. Depois da definição das funções de distribuição de probabilidade das variáveis base e dos acontecimentos aleatórios, geram-se amostragens aleatórias para o valor dessas variáveis e para os acontecimentos aleatórios, de forma a obter valores para a variável (ou variáveis), que

mede(m) o valor do projeto. Com esses valores, é possível, então, definir uma função de distribuição de probabilidade para o valor do projeto (Godinho, 2003).

Se as empresas guardarem as informações de todos os seus projetos (mesmo que infrutíferos), pode ser possível utilizar, por exemplo, simulação de Monte Carlo para obter estimativas de alguns parâmetros de entrada dos modelos de avaliação (Newton *et al.*, 2004). A simulação pode, assim, ser usada para obter uma distribuição de probabilidade que caracterize o valor do projeto, tendo em conta que toda a informação necessária está disponível e que os fatores de risco estão modelados matematicamente.

A simulação aparece, assim, como uma alternativa de avaliação de opções reais, relativamente aos métodos analíticos. Cortelezzi e Vilanni (2009) utilizam simulação de Monte Carlo para avaliar opções sequenciais de troca. Os autores assumem a variabilidade constante e, quer os custos de investimento, quer o valor do projeto, são modelados a partir de movimentos brownianos geométricos. Em projetos de I&D, podem aparecer oportunidades de investimento, cuja avaliação pode ser feita a partir de opções de troca, cujo valor depende das fases anteriores do projeto. Ora, este tipo de avaliação pode tornar-se muito complexa, quando é feita analiticamente. A simulação permite resolver problemas muito complexos em modelos de opções reais, e de forma muito flexível.

A simulação de Monte Carlo, sem um processo regressivo, pode não ser uma boa solução para avaliar opções reais (americanas) (Alonso-Bonis *et al.* 2009). Entenda-se por processo regressivo um processo que determina valores, usando expectativas futuras. Ou seja, se se considerar um intervalo de tempo discretizado, um processo regressivo começa no último instante e retrocede até ao primeiro. Em cada instante utiliza as expectativas futuras para determinar os valores e decisões relativas a esse instante, já que o processo analisou esses instantes futuros. Alonso-Bonis *et al.* (2009) defendem a utilização de processos regressivos, pois depois de tomada a opção, é necessário avaliar os valores futuros das variáveis de estado, tendo em conta o exercício da opção. Existe um método de simulação regressivo, para avaliar opções reais, que é o *least squares* Monte Carlo – LSM.

2.3.5.1 Método de simulação least squares Monte Carlo – LSM

Para avaliar opções reais, um dos métodos mais promissores é o *least squares* Monte Carlo - LSM (Longstaff e Schwartz, 2001). A ideia geral deste método de avaliação, para opções do tipo americano, é comparar o valor do exercício da opção com o valor esperado da opção, se não for exercida. Este método é regressivo, e recorre à estimação do valor esperado do *payoff* de uma opção, que se mantém viva, em cada instante possível de exercício. São simulados caminhos, contendo as variáveis de estado a utilizar. Com os caminhos simulados, é definida a decisão ótima para o último período. A partir destas decisões é construída, para o penúltimo período, uma função condicional que define o valor esperado, tendo em conta as decisões ótimas do último período. Com esta função, são definidas as

decisões ótimas do penúltimo período. O processo continua, de forma regressiva, até ao primeiro período.

As funções condicionais, utilizadas nos caminhos simulados, são funções de regressão (baseadas no método dos mínimos quadrados), que dependem de outras variáveis (de estado). Estas funções de regressão são determinadas a partir do cálculo de coeficientes de funções básicas, que podem ser simples potências, polinómios de Jacobi, polinómios de Chebyshev, funções exponenciais, entre outras. Se existirem várias variáveis de estado, as funções básicas devem incluir todas as variáveis, incluindo a utilização simultânea das mesmas. Através destas equações, é possível definir, em cada instante e em cada caminho, se é preferível exercer a opção, ou continuar com ela. O valor dado pelas equações corresponde ao valor de manter a opção. Para cada caminho simulado, é então definida a sequência ótima de decisões a tomar, e fazendo a atualização e média para todos os caminhos, é possível encontrar um valor atual para a opção em consideração. Assim, o método LSM dá melhores resultados consoante o número de simulações feitas, a discretização do tempo e, menos importante, a definição das funções básicas. Stentoft (2004) mostra que o tipo de funções básicas não influencia muito o valor das opções, pelo que, de forma a poupar esforço computacional, a utilização de potências simples pode ser suficiente.

Gamba (2003) utiliza o método LSM para avaliar projetos de investimento com múltiplas opções. Este autor decompõe um projeto em componentes mais simples para, posteriormente captar as interações entre eles. É, então, aplicado um método numérico baseado no LSM, que é adequado para problemas multidimensionais, já que é um método flexível o suficiente para lidar com uma grande variedade de processos estocásticos. O autor estende o método LSM para ter em conta a interação entre as diferentes opções. São consideradas opções independentes, opções compostas, opções mutuamente exclusivas e opções de troca. O autor apresenta ainda situações, em que combina as diferentes situações para simular casos reais.

Uma das limitações do método LSM poderá ser a escolha da base de polinómios a ser utilizada, quando a dimensão do problema aumenta, para estimar numericamente o valor esperado condicional das variáveis de estado em questão (Bouchard e Warin, 2011). Ou seja, quando existem muitas variáveis de estado, a escolha das bases que definem a própria função de regressão pode tornar-se mais difícil.

2.3.6 Modelos de avaliação

Após a apresentação de alguns princípios de opções reais, modelação do risco e abordagens de avaliação, ir-se-ão descrever, agora, alguns modelos de avaliação em I&D, baseados na teoria das opções reais.

Lint e Pennings (2001) usam a teoria das opções reais para avaliar projetos de desenvolvimento de novos produtos, sujeitos a grande incerteza tecnológica e de mercado. Os autores pretendem criar um sistema de avaliação, baseado em opções reais, de forma a incorporar estes fatores de incerteza nas decisões que se têm que tomar. Para tal, estes autores consideram que o projeto está dividido em quatro diferentes fases: análise e estudo iniciais do produto, pesquisa e desenvolvimento, validação, e lançamento do produto no mercado. Os autores consideram que apenas se prossegue para a fase seguinte, se a fase anterior for concluída com sucesso. A primeira fase é feita em conformidade com vários departamentos da empresa, tais como área de marketing, finanças, I&D e engenharia, e permite calcular um potencial valor para o projeto, bem como analisar e estimar a incerteza tecnológica e de mercado. Avaliam-se todas as fases até ao lançamento do produto, que incluem despesas e tempo de execução. Compara-se, depois, o valor da opção de lançamento do produto resultante do projeto com os custos totais dessa opção. Se o valor da opção for superior aos custos, pode avançar-se para a fase de pesquisa e desenvolvimento do projeto. Se esta fase for concluída com sucesso, e as incertezas tecnológicas forem resolvidas, é necessário decidir sobre o lançamento do respetivo produto no mercado. O produto deve ser lançado se tiver sido desenvolvido com sucesso, e se o valor do projeto exceder um determinado valor crítico. Se isto acontecer, a fase de validação é suprimida. Se uma das duas condições para o lançamento falhar, é necessário avançar para a fase de validação. Se o valor do projeto é baixo, há que analisar as condições de mercado, e proceder a simulações ou testes de mercado para analisar se é lucrativo lançar o produto, ou se é preferível atrasar o seu lançamento. Se houver incertezas tecnológicas elevadas, deve voltar-se à fase de desenvolvimento e alterar alguma característica do produto. Note-se que, se se admite que o tempo de execução da fase de pesquisa e desenvolvimento é fixo, o valor do projeto segue movimentos brownianos (diferentes em cada fase) e o cálculo do valor das opções é baseado em Dixit e Pindyck (1994: 140-144). Este modelo pressupõe, pois, hipóteses que podem ser demasiado fortes, em certas situações reais.

Lee e Paxson (2001) apresentam um modelo para avaliar projetos de I&D na área do comércio eletrónico, que pode aplicar-se a empresas de telecomunicações, serviços de internet ou software, entre outros. Assumem que um projeto é dividido em diferentes fases: duas fases iniciais de I&D com diferentes custos, e uma fase de desenvolvimento final, onde os valores do projeto são concretizados. As decisões das primeiras fases são baseadas na diferença entre o valor esperado do projeto (incluindo

futuras opções) e os respectivos custos. O tempo da segunda fase de I&D é fixo, bem como a duração da última fase. Os autores avaliam estes projetos como opções de troca sequenciais; isto porque, após cada fase, o gestor de projeto toma as decisões com base nas informações já obtidas, e recalcula as suas expectativas para a fase seguinte. Além disso, consideram este tipo de modelo, usando opções de troca sequenciais, mais realista e ajustável a projetos de I&D, que são caracterizados por diferentes fases de pesquisa e/ou oportunidades de investimento sequenciais. Quer os custos das fases de I&D, quer os custos da fase final de desenvolvimento, são modelados estocasticamente e os autores tentam estudar as correlações existentes. O modelo apresentado baseia-se no modelo de Carr (Carr, 1988), e o modelo usado pelos autores pode, também, ser interpretado como uma combinação entre uma opção de crescimento e uma opção de troca.

Os autores aplicam o modelo, por eles apresentado, a um conjunto de projetos de I&D, e depois a cada projeto individual. Para cada projeto individual, é verificada a eficácia, que relaciona os *cash flows* esperados com os custos das fases iniciais de I&D. Quer o valor tomado para a eficácia, quer os *cash flows* associados ao comércio eletrónico, são tidos em conta para o problema de alocação de recursos entre vários projetos. Cada projeto individual é associado/correlacionado com os outros projetos específicos. Uma limitação encontrada para a execução da alocação de recursos é que os autores consideram que a variância dos custos é igual em todos os projetos, o que, na realidade, pode não acontecer.

Se uma empresa tiver diferentes projetos de I&D para desenvolver, pode ser necessário distribuir os recursos existentes (sejam económicos, humanos, ou outros) pelos diferentes projetos. Ora, esta tarefa pode não ser fácil, pelo que a alocação de recursos poderá ter que ser avaliada por agregações (conjuntos) de projetos. Mesmo dentro de um só projeto, esta avaliação pode ter que ser feita, caso esse projeto seja constituído, por exemplo, por diferentes tarefas ou “miniprojectos”.

Pode ser, também, necessário saber construir e avaliar um portfólio de projetos de I&D, isto é, perceber em que projetos uma empresa vai investir, em termos de médio prazo. A decisão sobre a construção do portfólio recai sobre a alocação de recursos aos diferentes projetos (Wang e Hwang, 2007). Em projetos de I&D, estas decisões não são fáceis, já que os projetos têm um tempo de vida longo, e podem existir mudanças a nível de mercado e a nível tecnológico. Estas decisões têm que ter em conta futuros eventos e/ou oportunidades, ou seja, a informação é, por norma, sujeita a incerteza, já que a nível tecnológico, existe uma evolução muito grande e o ciclo de vida das tecnologias é curto (Wang e Hwang, 2007). Devido a esta incerteza, a disponibilidade dos recursos deve ser flexível, pois, à medida que o tempo passa, novas informações chegam, e pode ser necessário realocar recursos. Wang e Hwang (2007) desenvolveram um modelo *fuzzy* de opções reais compostas, para estimar o

valor dos projetos de I&D. Os autores defendem que as opções reais são uma boa ferramenta para avaliar projetos de I&D, pois incorporam o risco e adaptam os modelos de avaliação de opções à avaliação deste tipo de projetos. A teoria dos conjuntos *fuzzy* é utilizada para representar informação de projetos incertos e flexíveis. Os números *fuzzy* são utilizados para representar os parâmetros sujeitos a incerteza, necessários à avaliação de um projeto de I&D (custos, receitas, etc.). Para calcular o valor do projeto, os autores não tiveram em conta apenas o investimento inicial, mas também as oportunidades futuras de investimento. Por isso, utilizaram a teoria das opções reais. Como estes projetos são, normalmente, definidos por fases, no fim de cada fase, existem várias opções que podem ser tomadas, mediante o sucesso dessa fase (atrasar, abandonar ou continuar). Por existirem diferentes fases, os autores recorreram ao modelo de Geske para opções compostas (Geske, 1979; Perlitz *et al.*, 1999), estendido à teoria de conjuntos *fuzzy*, para avaliar o projeto de I&D. Para a seleção dos projetos de I&D, é construído um programa linear de otimização para maximizar os benefícios totais do portfólio dos projetos-candidatos de I&D. A função objetivo contém os valores *fuzzy* futuros esperados para cada projeto-candidato e os custos totais de cada projeto, expressos, também, em números *fuzzy*. As variáveis decisão são dicotómicas (assumem o valor 1, se o projeto correspondente for selecionado, e 0, senão). As restrições do programa linear incluem a limitação de recursos humanos, a duração dos projetos, os custos e a seleção “obrigatória” de alguns projetos. Como as restrições e a função objetivo incluem números *fuzzy*, os autores transformam o programa linear de otimização num de programação inteira (Inuiguchi e Ramik, 2000). Este modelo *fuzzy* de otimização para a construção de um portfólio de projetos incorpora, tanto a incerteza, como a flexibilidade em parâmetros intrínsecos ao valor dos projetos. O facto desse modelo ser transformado num modelo matemático resolúvel, simplifica a resolução do problema. Os autores referem a necessidade de mais experimentação na aplicação deste modelo.

2.3.7 Modelos de avaliação de I&D usando simulação LSM

Nesta secção, ir-se-ão apresentar alguns modelos de avaliação de projetos de I&D, que utilizam como abordagem de avaliação, o método LSM. A simulação, como já foi referido, é uma alternativa para o cálculo do valor das opções, quando a informação existente não é suficiente para utilizar outras abordagens, ou quando não é possível resolver o problema analiticamente.

Hsu e Schwartz (2008) utilizam este tipo de avaliação de projetos de I&D na área farmacêutica. Assumem que, nesses projetos, existe incerteza no tempo e nos custos, para completar o projeto, na qualidade do resultado do projeto e na procura de mercado para o produto desenvolvido pelo projeto. Este modelo é, posteriormente, aplicado a projetos de desenvolvimento de vacinas para doenças, em

regiões subdesenvolvidas. Estes projetos são de baixo investimento. Os autores admitem que os projetos são divididos em três fases, e no início de cada fase, existem momentos de decisão, perante as opções disponíveis. As duas primeiras fases são de investigação e desenvolvimento, e a terceira fase é de introdução do produto no mercado. No início da primeira fase, decide-se se se inicia o projeto, mediante os custos esperados para as fases de investigação e desenvolvimento, e as receitas esperadas na introdução do produto no mercado; no início da segunda fase, analisa-se a opção de continuar com o projeto, de acordo com as expectativas (revistas) dos custos da segunda fase e das receitas esperadas aquando da introdução do produto no mercado. No final das fases de investigação e desenvolvimento, decide-se se o produto é introduzido no mercado, mediante novas projeções. Os custos nas fases de I&D são modelados com base em movimentos brownianos. A incerteza relativa à qualidade do produto é caracterizada a partir de uma distribuição de probabilidade, utilizada na área farmacêutica, para caracterizar o sucesso das vacinas. Para a fase de introdução no mercado, têm em conta os custos de produção e a procura do produto. No modelo é ainda introduzida a possibilidade de acontecimentos catastróficos, tais como abandono do projeto por falta de financiamento, partida dos investigadores principais na fase de I&D, introdução de uma vacina melhor por um competidor ou existência de risco em termos de segurança, que faça com que o produto seja retirado do mercado. Os autores analisam, então, a opção de abandono em cada momento de decisão, ao longo do projeto. Esta política de abandono é analisada de maneira diferente, no fim de cada uma das fases de I&D, e de forma regressiva, isto é, desde a última fase até à primeira. No fim da segunda fase, é possível calcular, analiticamente, o valor do lucro esperado por introdução no mercado, pois este valor depende da procura de mercado, do custo unitário, tempo e custo de investimento da fase de produção, e todas estas funções são exógenas ao modelo. A política nesta fase será lançar no mercado, se o lucro esperado for positivo. No final da primeira fase, o lucro esperado, por introdução do produto no mercado, é a diferença entre as receitas esperadas por esse lançamento e os custos esperados para a segunda fase de I&D. Se este lucro for positivo, avança-se para a segunda fase de I&D. No entanto, o cálculo deste lucro não pode ser feito analiticamente, recorrendo a formas fechadas. Em alternativa, os autores utilizam o método LSM.

Álvarez *et al.* (2007) utilizam o método LSM para avaliar projetos de I&D, estruturados em fases. Os autores assumem a opção de abandono nas diferentes fases do projeto. As fases do projeto são: fase de pesquisa, onde, no final, se obtém a patente do novo produto, existindo a opção de abandono, e em que o investimento total é estimado de forma determinista; a segunda fase é a de desenvolvimento do projeto, sob proteção da patente, em que o mesmo pode ser vendido ou abandonado e onde o custo do investimento é estocástico; a terceira e última fase é a de criação de *cash flow*, através da posse da patente. Nesta última fase, continuam a existir as opções de abandono e de venda. Na primeira e na

segunda fases, existe a possibilidade de ocorrência de acontecimentos catastróficos, que impossibilitam a continuação do projeto e cuja descrição é feita, recorrendo a uma distribuição de Poisson. Os custos totais do investimento são estocásticos e descritos através de um processo de difusão e os *cash flows* são descritos através de um movimento browniano. Para aplicar a simulação, os processos são discretizados no tempo. Quando os caminhos são simulados, em cada instante considerado, os autores aplicam o método LSM, para, em cada caminho e em cada instante, se tomar a melhor decisão, de entre as opções existentes: continuar, abandonar ou vender o projeto.

Alonso-Bonis *et al.* (2009) também utilizam simulação para avaliar opções reais. Os autores estimam diretamente os valores das variáveis de estado, que definem a fronteira ótima de exercício, e portanto, é possível obter regras claras de decisão para quem possui a opção. Os autores utilizam simulação associada à programação dinâmica, como o procedimento de regressão LSM. Alonso-Bonis *et al.* (2009) assumem que as variáveis de estado (como receitas, custos, procura, etc.) são melhor definidas por processos mistos, que incluem movimentos brownianos geométricos (os habituais para as variáveis de estado em opções financeiras) e “saltos” aleatórios descontínuos (como sendo processos de Poisson). Estes “saltos” podem definir acontecimentos inesperados, que podem ocorrer durante a execução de um projeto de I&D, como por exemplo, uma alteração nas preferências dos clientes, ou um progresso tecnológico. A introdução destes “saltos” torna difícil a avaliação das opções, usando abordagens como soluções fechadas ou *lattices*. Alonso-Bonis *et al.* (2009) utilizam, assim, simulação e processos regressivos, para avaliar opções reais (quer europeias, quer americanas). Aplicam a sua metodologia a investimentos de uma multinacional, que fornece componentes de automóveis. São avaliadas as opções de expandir e de contrair o investimento.

Willigers e Hansen (2008) utilizam o método LSM aplicado a opções reais, para avaliar projetos na área farmacêutica. Os autores também fazem a avaliação, utilizando outras metodologias, como o modelo binomial para opções reais e métodos apoiados no VAL. A aplicação de LSM permite a incorporação de várias fontes de incerteza, com opções compostas americanas. Estes projetos são estruturados em diferentes fases: investigação e desenvolvimento pré-clínico, três fases de investigação e desenvolvimento clínico, e revisão para aplicação de um novo medicamento. Nas fases de I&D, existe um risco técnico, que pode levar à não finalização do projeto e existe, também, incerteza quanto à duração do projeto, que, normalmente é longo, sendo, por isso, difícil prever o valor do projeto. Além disso, novos medicamentos estão também sujeitos à incerteza de mercado, já que são poucos os que geram um retorno positivo, após o investimento inicial. Utilizando as probabilidades de sucesso de cada fase e os VAL correspondentes, é possível encontrar o VAL esperado para o projeto. Neste tipo de avaliação, o risco técnico é incorporado, desenvolvendo diferentes cenários, e estimando

as respectivas probabilidades de ocorrência. O risco de mercado é incorporado também, sendo que a taxa de atualização é composta pela taxa de juro sem risco, e por uma taxa associada ao risco do ativo subjacente.

No modelo apresentado por Willigers e Hansen (2008), as receitas futuras são modeladas estocasticamente, e a decisão de exercer a opção de abandono é determinada, também, pelo estado do mercado e por falhas técnicas. As receitas são descritas por um movimento browniano geométrico. Para a aplicação do LSM, os autores apoiaram-se em Schwartz (2004). Este modelo permite a inserção de várias fontes de incerteza. Inicialmente são gerados muitos caminhos para os *cash flows* que podem ser obtidos ao longo do projeto. Estes *cash flows* são determinados, tendo também em conta processos estocásticos, que controlam a duração do projeto e o desenvolvimento de mercado. Para além dos *cash flows*, em cada instante dos caminhos simulados, são determinados os custos esperados até ao lançamento do produto, as receitas não realizadas (mas que seriam capturadas, se naquele instante o produto estivesse no mercado), o custo incremental (custo necessário para o projeto avançar para o próximo período ou instante) e o estado de desenvolvimento (esta variável tem em conta, por exemplo, o risco técnico). O método LSM é então aplicado, sendo que o valor esperado do projeto, em cada instante, é função das receitas ainda não concretizadas e dos custos previstos desde esse instante até ao lançamento do produto.

Godinho *et al.* (2007) apresentam um modelo baseado em opções reais, para avaliar projetos de I&D na área das telecomunicações, com o auxílio de simulação LSM. Os autores assumem três fases para os projetos: desenvolvimento de um novo produto, introdução do produto no mercado, com continuação de desenvolvimento, e declínio de mercado.

Na fase de desenvolvimento de um novo produto, o trabalho é dividido em diferentes partes, que são denominadas ações. As primeiras ações requerem poucos recursos, e caso haja sucesso, mais recursos serão requisitados, para o desenvolvimento do produto. São consideradas várias fontes de incerteza, tais como dificuldades tecnológicas, condições de mercado e o tempo para completar cada ação. O objetivo será perceber que recursos se devem alocar a cada ação, perante as condições apresentadas. O custo é proporcional ao tempo que a ação demora a ser executada, e também depende do nível de recursos utilizado. As dificuldades tecnológicas são modeladas a partir de processos de Poisson. Se as ações levarem à conclusão de um novo produto, o valor desse produto é descrito a partir de um movimento browniano geométrico. Este valor será interpretado como um indicador do valor real do produto, tendo em conta a informação atual. As opções consideradas neste modelo são a opção de continuidade (existe a opção de prosseguir para uma nova ação, quando a anterior é concluída com sucesso) e a opção de abandono. Os autores consideram ainda a opção de mudar de nível de recursos

durante o desenvolvimento do produto. O objetivo é, então, encontrar a melhor estratégia para o desenvolvimento do produto, isto é, o objetivo é perceber qual a melhor alocação de recursos em cada momento. Este estudo é feito utilizando simulação, particularmente, o método de simulação do LSM. São simulados os valores para as variáveis de estado, que definem cada ação: o valor do produto, a dificuldade esperada e o tempo demorado, para completar as frações constituintes da ação.

Após o desenvolvimento do produto, os autores definem a fase de introdução de mercado com continuação de desenvolvimento, dividida em diferentes subfases: introdução, crescimento e maturidade. Esta segunda fase e respectivas subfases também são divididas em ações, que correspondem a diferentes taxas de crescimento e a diferentes respostas do mercado, relativas a melhorias no próprio produto. Consideram, também, que a simulação é apropriada, para perceber qual a melhor estratégia para cada ação. Na última fase do projeto (declínio de mercado), já não existem decisões a serem tomadas, já que o produto não vai ser alterado e continuará no mercado, enquanto for rentável.

2.4 Outras formas de avaliação e seleção de projetos de I&D

Apesar da teoria das opções reais ser bastante promissora, na avaliação ou seleção de projeto(s) de I&D, podem não existir dados suficientes para aplicação de modelos baseados em opções reais (incluindo inferência de parâmetros), ou pode existir outro tipo de critérios relevantes para essa avaliação. Além disso, pode existir uma incerteza demasiado elevada, o que leva a que os resultados obtidos por aplicação de modelos de opções reais sejam, de alguma forma sujeitos, a um certo grau de arbitrariedade, devido ao efeito da incerteza em projetos de I&D de longa duração (Godinho *et al.*, 2011). A presença de uma grande incerteza pode, também, levar a diferentes interpretações sobre as melhores decisões a serem tomadas, para maximizar o valor do projeto. Além destas limitações, pode acontecer que não seja possível incorporar na avaliação todas as variáveis, que influenciam o resultado do projeto; variáveis essas, que devem ser tidas em conta na avaliação dos projetos e posterior tomada de decisões. Santiago e Bifano (2005) referem que ainda existem problemas no uso de modelos quantitativos para o cálculo do valor das opções reais. Os autores apontam três áreas onde a maior parte desses problemas se enquadra: a escolha do modelo que inclua as hipóteses corretas para o projeto em avaliação; a determinação dos parâmetros ou dados necessários ao modelo; e o tratamento matemático do mesmo. Pode, assim, ser útil diversificar diferentes abordagens de avaliação, dependendo do tipo de projeto considerado. Mais ainda, existe muitas vezes a necessidade de considerar fatores de avaliação, quer quantitativos, quer qualitativos (Park *et al.*, 2011). Esta necessidade leva a que muitos autores utilizem, por exemplo, métodos e modelos de avaliação baseados em análise de decisão multicritério (MCDA).

Existem, pois, na literatura, muitas abordagens possíveis para a avaliação e/ou seleção de projetos de I&D. Os vários métodos existentes podem ser agrupados, e diversos autores fizeram essa classificação. Na seleção e construção de um portfólio de projetos de I&D, para posterior alocação de recursos, Wang e Hwang (2007) enumeram três grandes grupos de métodos: ferramentas de gestão estratégica, métodos de medida de benefícios e programação matemática.

Ferramentas de gestão estratégica:

- As ferramentas de gestão estratégica têm como objetivo enfatizar a conexão entre projetos inovadores para questões da estratégia da empresa ou analisar o risco associado ao portfólio de projetos.

Métodos de medida de benefícios:

- Os métodos de medida de benefícios atribuem um valor a cada projeto, e os projetos de maior valor vão sendo selecionados, de acordo com as restrições que possam existir (Heidenberger e Stummer, 1999). Dentro destes métodos, encontram-se os métodos comparativos, modelos de *scoring*, modelos económicos e técnicas de decisão em grupo.

Modelos de programação matemática:

- Os modelos de programação matemática, para avaliar e alocar recursos em projetos de I&D, pretendem otimizar uma determinada função objetivo, sujeita a restrições relativas a recursos, lógica e dinâmica do projeto, tecnologia, estratégia, etc. (Heidenberger e Stummer, 1999). A programação matemática inclui modelos de programação linear e não linear, modelos de programação inteira, modelos que misturam os anteriores, modelos de programação dinâmica, modelos de programação estocástica e modelos de programação *fuzzy* (Heidenberger e Stummer, 1999).

Coldrick *et al.* (2005) referem que a programação matemática não é muito utilizada na avaliação de projetos de I&D, pois os projetos em avaliação podem ter naturezas diferentes. Além disso, quando se trata de técnicas de otimização, a avaliação é feita, em geral, de acordo com um só critério. Este facto envolve, usualmente, a conversão de diferentes atributos numa só escala que, por norma, é monetária.

2.4.1 Modelos de avaliação de projetos de I&D

Em seguida, ir-se-ão introduzir vários tipos de modelos ou métodos utilizados em avaliação de projetos de I&D.

2.4.1.1 Modelos de scoring

Os modelos de “*scoring*” (ordenação e seleção), através de múltiplos critérios, selecionam os melhores projetos e ordenam-nos, a partir dos valores que cada projeto alcança nos diferentes critérios, tendo em conta a perceção e entendimento por parte dos decisores. Estes valores são, então, combinados para chegar a um valor, que prioriza cada projeto. Estes métodos são mais adequados, quando não há uma forte interdependência entre projetos, isto é, quando os resultados e atividades de um projeto não influenciam os outros projetos (Henriksen e Traynor, 1999). Os métodos de “*scoring*” têm algumas limitações (Henriksen e Traynor, 1999): o resultado da avaliação de cada projeto, que corresponde a um valor de mérito ou “*score*”, não é uma medida suficiente para traduzir o verdadeiro valor do projeto; os algoritmos puramente aditivos ou multiplicativos para calcular os *scores* não traduzem corretamente o desempenho do conjunto em avaliação nos diferentes critérios, isto é, não traduzem a relação dos projetos entre si, nos diferentes critérios; estes métodos não incorporam a evolução dos projetos ao longo do tempo; os *scores* resultantes da avaliação podem criar alguma insegurança entre os responsáveis do projeto, já que os modelos de *scoring* implicam, sempre, alguma subjetividade. No entanto, a avaliação por *scoring* é útil quando se comparam projetos dentro de um conjunto do mesmo tipo, e que não sejam fortemente relacionados.

Coldrick *et al.* (2005) apresentam uma ferramenta para seleção e avaliação de projetos de I&D, que utiliza, em parte, modelos de *scoring*. Em primeiro lugar, os projetos de I&D são classificados a partir do tipo de I&D. Os autores classificam os projetos como investigação básica, investigação aplicada ou desenvolvimento experimental. Para os diferentes tipos de projeto, existem diferentes critérios a utilizar, para chegar a um *score* que caracterize o projeto (através de modelos de *scoring*). Os critérios e respetivas importâncias relativas devem ser previamente inferidos. A fase seguinte é a fase de seleção. Esta fase pretende avaliar o risco e os benefícios do projeto. A avaliação depende do tipo de projeto. Para os projetos de investigação básica, os autores defendem que não é possível avaliá-los corretamente, pois estes projetos são de pesquisa de novas potenciais tecnologias, o que leva a pouca informação financeira. Para os outros tipos de projetos, é feita uma análise de risco e uma análise financeira. Para a análise de risco, os autores defendem, também, uma avaliação baseada em modelos de *scoring*, e para a análise financeira, os autores defendem a utilização de métodos tradicionais,

nomeadamente o VAL. A escolha do VAL vem do facto de ser independente da escala temporal e de dar uma indicação sobre o impacto financeiro dos projetos.

Henriksen e Traynor (1999) utilizam um modelo de *scoring* melhorado para avaliar projetos de I&D. Em primeiro lugar, inferem os critérios a utilizar. Os critérios inferidos no caso estudado pelos autores foram relevância, risco, racionalidade (verifica se o nível de recursos proposto permite finalizar, com sucesso, o projeto), retorno a nível de investigação e conhecimento, retorno a nível de aplicação de conhecimento e retorno económico. É, também, necessário inferir o peso dos critérios e esta inferência pode ser feita através de métodos como o AHP (*analytic hierarchy process*) (Saaty, 1980), introduzido na secção seguinte, ou através de aplicação de inquéritos. A partir das respostas a um questionário sobre os projetos, dadas pelos responsáveis de avaliação de cada projeto, é aplicado um algoritmo para chegar a um valor, que represente o mérito do projeto. Além do valor de mérito, são também tidos em conta os recursos necessários ao projeto. O valor desses recursos é convertido numa escala de forma a se poder conjugar com o valor de mérito. O valor, assim obtido, avalia o projeto globalmente.

Henriksen e Palocsay (2008) introduziram um sistema de apoio à decisão que emprega a metodologia de *scoring*, desenvolvida por Henriksen e Traynor (1999). Para a avaliação de projetos de I&D, este sistema de apoio à decisão considera, quer o mérito do projeto, quer os seus custos, tendo em conta o desempenho dos projetos em múltiplos critérios. Estas autoras desenvolveram o sistema, usando a programação VBA aplicada ao Excel, de forma a que a interação com o utilizador fosse simples e eficaz. São utilizados quatro critérios, e questionários sobre os custos/financiamento dos projetos e sobre o desempenho dos projetos nos diferentes critérios. Os pesos dos critérios são inferidos através de comparações par a par e os questionários são respondidos por diferentes avaliadores dos projetos. As respostas às perguntas dos questionários são dadas em função de uma escala de 1 a 5, onde 1 representa muito alto e 5 muito baixo. É calculado um valor de mérito (*score*), numa escala de 0 a 1, que é obtida através da média de respostas dos avaliadores e dos pesos dos critérios. Para além do valor de mérito, é ainda fornecido um valor, na mesma escala do valor de mérito, sobre o financiamento do projeto. Este valor é dado numa escala relativa, e relaciona o financiamento necessário ao projeto com os valores máximo e mínimo dos financiamentos de todos os projetos. O valor de mérito e este valor relativo ao financiamento são combinados de forma a obter um valor global (índice) para cada projeto em avaliação. O sistema de apoio à decisão fornece, ainda, gráficos para melhor ajudar na gestão das decisões e nas discussões sobre o resultado da avaliação. Os valores globais dos projetos ajudam a priorizar esses projetos e, apesar de esta priorização não substituir o agente de decisão, ajuda na tomada de decisões sobre a seleção de projetos. Este sistema de apoio à decisão usa apenas *scoring*, o que significa que prioriza os projetos segundo uma escala ordinal. Os

métodos de *scoring* não lidam, em geral, diretamente com os valores financeiros previstos para os projetos. Esta questão pode trazer desvantagens na utilização de *scoring* nos estados mais avançados dos projetos.

2.4.1.2 DEA

Farris *et al.* (2006) desenvolveram um método de avaliação de projetos de I&D através de *Data Envelopment Analysis* (DEA). O DEA foi desenvolvido por Charnes *et al.* (1978) e é uma técnica baseada em programação linear, que analisa e avalia as “unidades de tomada de decisão” (*decision making units - DMUs*). As unidades com o melhor compromisso entre os diferentes critérios são utilizadas para construir uma “fronteira eficiente”, de forma que seja possível perceber e quantificar a distância das outras unidades a essa fronteira (Farris *et al.*, 2006). Farris *et al.* (2006) analisam projetos através da avaliação de variáveis, tais como a duração do projeto, o esforço requerido, o pessoal necessário e a complexidade técnica. A partir destas variáveis, os autores fazem uma análise estatística e aplicam o DEA para retirar conclusões sobre os projetos. No entanto, neste tipo de análise, não é, em geral, feita uma análise económica, nem é tida em conta a incerteza.

2.4.1.3 Método AHP (*Analytic Hierarchy Process*)

Este é um método de ordenação que foi desenvolvido por Saaty (1980). É um método que compara um conjunto de alternativas num processo de decisão, que pode ser complexo e pode envolver vários agentes de decisão (decisão em grupo). Esta comparação é feita segundo fatores qualitativos e/ou quantitativos. Logo, este método é aplicável a uma vasta área de projetos (alternativas), incluindo os de I&D. Os critérios relevantes a considerar são estruturados em hierarquia. No topo da hierarquia está o objetivo principal, depois os critérios que contribuem para esse objetivo, em seguida, o(s) nível(is) de subcritérios (se houver) e, finalmente, as alternativas. Em cada nível, as alternativas ou critérios são comparados em relação aos critérios do nível superior. Através de comparações par a par entre critérios, pode chegar-se a um valor para o peso de cada critério ou subcritério, em cada nível. Este processo termina no nível das alternativas, o que leva à avaliação geral de cada alternativa (que pode ser um projeto). As comparações são feitas através de valores que traduzem relações de prioridade. As comparações par a par, relativamente aos critérios do nível superior, permitem a construção de uma matriz, cujo valor próprio máximo e respetivo vetor próprio são utilizados para se chegar à importância relativa de cada alternativa ou critério. No final do processo, chega-se a um valor relativo de importância para cada alternativa, que engloba as prioridades de cada alternativa em cada critério e os pesos dos critérios.

No entanto, este método traz alguns problemas. Um dos problemas deste método é o número muito elevado de comparações par a par requeridas ao utilizador, que advém do número possivelmente

elevado de critérios e/ou alternativas. Além disso, o utilizador pode não ser capaz de efetuar algumas comparações (Fedrizzi e Giove, 2007). O facto de as comparações serem feitas através de rácios, implica que o valor zero da escala utilizada seja um limite natural na utilização do AHP (Bana e Costa e Vansnick, 1994). Esta limitação acontece, por exemplo, quando se quer comparar valores financeiros, onde podem existir valores negativos e em que o valor zero não significa ausência de valor. Neste caso, é necessário perceber de que forma se podem comparar valores financeiros nulos com os outros, ou como comparar valores financeiros positivos com valores financeiros negativos. Outra restrição do método AHP apresentada por Bana e Costa e Vansnick (1994) é o facto de as comparações serem efetuadas através da introdução de apenas um valor, não permitindo a entrada de um intervalo de valores. Finalmente, o método AHP pode apresentar outra desvantagem ligada à incoerência nas comparações: se uma alternativa, mesmo que irrelevante, for adicionada, a ordem relativa das restantes alternativas, estabelecida anteriormente, pode mudar (Poh *et al.*, 2001).

No entanto, devido à sua simplicidade e estrutura, o AHP é, frequentemente, aplicado em diversas áreas, nomeadamente na avaliação de projetos de I&D. Feng *et al.* (2004) utilizam o método AHP para avaliar o peso das universidades, em termos de atividades de I&D. Outros exemplos de aplicação do AHP, para ordenar projetos de I&D, podem encontrar-se em Brenner (1994) ou em Reisinger *et al.* (2003).

Huang *et al.* (2008) apresentam o método AHP desenvolvido com números *fuzzy* para avaliar as apreciações subjetivas feitas por peritos de um programa de desenvolvimento de tecnologia na Tailândia. Shin *et al.* (2007) aplicam este método para avaliar e priorizar um conjunto de projetos nacionais de I&D na área da energia nuclear, na Coreia, considerando um grande número de critérios e características. Poh *et al.* (2001) também utilizam o método AHP para comparar métodos de avaliação de projetos de I&D. Também Kangmao *et al.* (2005) utilizam o método AHP para avaliar projetos de I&D multidisciplinares na China. Liberatore (1987) utiliza o método AHP para selecionar projetos de I&D na área da indústria, com o objetivo de alocar recursos.

2.4.1.4 Método ANP - Analytic Network Process

O método ANP (Analytic Network Process) é uma generalização do AHP. Enquanto o AHP é um método de apoio à decisão multicritério, decomposto em vários níveis de decisão, que constituem uma hierarquia de níveis de critérios, e as decisões em cada nível são vistas com independência, no método ANP assume-se interdependência entre esses níveis. Ou seja, o método ANP, ao invés de decompor o problema numa hierarquia de decisões, decompõe-no numa rede genérica, com diferentes tipos de critérios e cujas decisões estão interrelacionadas.

Jung e Seo (2010) apresentam um modelo de avaliação de projetos de I&D baseado no método ANP. Eles baseiam-se neste método, pois numa empresa, podem existir vários projetos de I&D a serem

desenvolvidos, e que são bastante heterogêneos, mas ainda assim interdependentes. Além disso, os projetos podem ter objetivos diferentes. Este método é, então, aplicado para avaliar um conjunto de projetos de I&D de uma empresa. Os projetos são avaliados em duas sub-redes de critérios: uma com critérios que avaliam os benefícios, e outra com critérios que avaliam os custos. A avaliação final relaciona o valor obtido, através da avaliação dos benefícios e da avaliação dos custos. No final, existe uma ordenação dos projetos. Os autores admitem que o ambiente pode influenciar os níveis de critérios de decisão e as decisões dos agentes de decisão. Uma das alterações a fazer seria considerar inter-relações entre subcritérios de um mesmo nível de critérios, e não só as dependências entre os projetos e os critérios.

Outros autores como Meade e Presley (2002) utilizam o método ANP para selecionar projetos de I&D.

2.4.1.5 Teoria da utilidade multiatributo (MAUT)

Por utilidade entende-se a satisfação recebida pelo consumo de um bem ou serviço (Wang *et al.*, 2010). O valor da utilidade é dado pelos agentes de decisão, perante a sua experiência. A função de utilidade, em análise de decisão, exprime o benefício ou perda vinda da experiência dos agentes de decisão. A teoria da utilidade com múltiplos atributos integra fatores subjetivos dos agentes de decisão na análise de fatores objetivos, como sendo o lucro ou perdas de um projeto (Wang *et al.*, 2010). O princípio geral da MAUT será encontrar os atributos que influenciam o objetivo da decisão; calcular o valor da utilidade em cada atributo e avaliar as importâncias de cada atributo; de acordo com as relações entre atributos, pode encontrar-se um modelo que agregue todos os valores de utilidade num valor de utilidade de múltiplos atributos; finalmente, pode selecionar-se a melhor alternativa, segundo este último valor (Zeng *et al.*, 2007).

Wang *et al.* (2010) desenvolveram um modelo dinâmico de decisão baseado em MAUT, para avaliar projetos de I&D. Como atributos, foram selecionados o risco tecnológico, o risco de mercado e os benefícios económicos. As funções utilidade para estes atributos foram baseadas em, respetivamente, probabilidade do sucesso tecnológico (maior probabilidade, maior valor de utilidade), variabilidade do VAL (maior variabilidade, menor valor de utilidade) e taxa de retorno (índice de rentabilidade) esperada dos investimentos (maior taxa, maior valor de utilidade). Após esta definição, é necessário encontrar as suas importâncias relativas. Esta inferência foi feita utilizando a experiência de peritos, e a partir destes valores, foram construídas distribuições para cada importância, para depois simular os seus valores. Em consequência, a seleção da melhor alternativa também foi feita a partir de simulação. A teoria da utilidade tem, no entanto, algumas limitações, como sendo a dificuldade de seleção dos atributos relevantes e a dificuldade de definir as funções utilidade adequadas (Wang *et al.*, 2010).

2.4.1.6 Outros modelos de avaliação em I&D

Existem outros modelos de avaliação, que recorrem a múltiplos critérios. Por exemplo, Bana e Costa e Vansnick (1994) desenvolveram um método, o MACBETH, para ordenar alternativas com base em múltiplos critérios. Este método é interativo e baseia-se na resposta a questões sobre a diferença de atratividade entre alternativas. É utilizada uma escala semântica, para ajudar nas comparações entre alternativas, tal como o método AHP. No entanto, a escala utilizada no MACBETH é uma escala de rácios de diferenças, que permite a introdução de valores simétricos. Existe, pois, a possibilidade de utilizar valores simétricos (atratividade *versus* repulsa), ou seja, o valor zero deixa de ser um problema. Além disso, o MACBETH permite a utilização de intervalos reais para comparar alternativas, enquanto o método AHP utiliza apenas valores reais. A base matemática de ambos os métodos também é diferente.

Oral *et al.* (1991) apresentam um processo para avaliar e selecionar projetos de I&D, com base em múltiplos critérios. Para avaliar os projetos de I&D, os autores utilizam dois modelos. O primeiro modelo pretende encontrar uma função valor para cada projeto, de forma a que não exista outra função valor que atribua um valor maior ao mesmo projeto de I&D. Estas funções valor são definidas a partir de programas de otimização, com base em diferentes critérios. Além disso, estas funções representam uma autoavaliação, em que nenhum projeto é, à partida, melhor que outros, e que lhe é dada a melhor oportunidade para ser selecionado no processo de avaliação. Na aplicação apresentada, os critérios definidos foram: contribuição económica direta, contribuição económica indireta, contribuição tecnológica, contribuição científica, contribuição social, probabilidade de sucesso e requisitos em termos de recursos físicos (pessoal, material, etc.).

A segunda avaliação utiliza as funções valor dos projetos, que representam valores relativos para ordenar os projetos. Esta ordenação é feita, recorrendo também a um modelo de otimização, tendo em conta que o valor retirado é um valor relativo de avaliação de um projeto, sob o ponto de vista de outro projeto, isto é, é dada uma avaliação relativa para cada par de projetos.

A fase de seleção baseia-se na construção de subconjuntos de projetos, feita por vários decisores. A definição destes subconjuntos é tal, que a introdução de um projeto nesse subconjunto só é feita se esse projeto for considerado, pela maioria dos decisores, não inferior aos restantes projetos desse subconjunto. Este tipo de concordância é feito recorrendo a programas lineares.

2.4.2 Outras abordagens de avaliação de projetos de I&D

Para além dos modelos descritos anteriormente, outras abordagens de avaliação podem ser encontradas na literatura. Em seguida, ir-se-ão apresentar algumas propostas de avaliação de projetos de I&D, diferentes dos modelos apresentados anteriormente.

2.4.2.1 Sistemas de apoio à decisão organizacional

Tian *et al.* (2005) apresentam um sistema de apoio à decisão organizacional para selecionar projetos de I&D. Este tipo de sistema combina tecnologias computacionais e tecnologias de informação para coordenar atividades de decisão, em diversos setores de uma empresa. O processo de seleção de projetos de I&D tem diversas etapas. Em primeiro lugar, é necessário definir, através da hierarquia da empresa, diferentes tarefas, que ajudam na seleção dos projetos, bem como os grupos de decisão. As tarefas previstas passam por propor os projetos, selecionar avaliadores externos, fazer a revisão pelos pares, agregar a revisão, avaliar o painel resultante e tomar a decisão final. Os grupos de decisão passam por gestores de projeto, gestores de departamento, peritos, entre outros.

Em segundo lugar, os elementos de cada grupo devem tomar decisões, utilizando o sistema, que deve fornecer ferramentas de apoio à decisão, de forma a coordenar as atividades de decisão.

Por último, são necessários mecanismos, para agregar as decisões dos grupos. O sistema deve ligar os grupos de decisão, para que todos os elementos do grupo tenham acesso à informação dos outros grupos, e assim, poderem agregar informações sobre as decisões tomadas.

2.4.2.2 Modelos Interativos

Existem diversas formas de avaliar e selecionar projetos de I&D, incluindo métodos ainda mais interativos com os gestores e especialistas dos projetos.

Hall e Nauda (1990) apresentam um modelo interativo, para selecionar projetos de I&D independentes entre si. Este processo começa por definir, em primeiro lugar, os requisitos a que os projetos de I&D devem obedecer, de forma a serem propostos projetos relevantes para a empresa. Depois das propostas serem analisadas pelo responsável da área de I&D, os projetos são avaliados em termos tecnológicos e de negócio. Para ambas as áreas, são definidos critérios, e os responsáveis de cada uma avaliam os projetos segundo uma escala semântica, que varia entre 0 (fortemente contra) e 10 (fortemente a favor). As avaliações voltam ao diretor de I&D, que distribui os projetos, segundo um gráfico de dois eixos (tecnologia versus negócio), cujas escalas variam entre 0 e 10. A partir deste gráfico, o responsável pode selecionar os projetos que melhor satisfazem, quer a área tecnológica, quer a área de negócios.

2.4.2.3 Alocação de recursos em I&D

Todos os modelos e metodologias apresentados podem, também, servir na alocação de recursos pelos projetos de I&D a serem desenvolvidos. Existem diferentes formas de o fazer, mas nem sempre com os melhores resultados, devido à incerteza e flexibilidade operacional a que estes projetos estão sujeitos.

Verma *et al.* (2011) apresentam um modelo para gerir projetos de I&D, que estão em curso numa empresa e que estão relacionados ou são interdependentes. Os autores apresentam, assim, um modelo, que permite alocar recursos aos diferentes projetos em curso, de acordo com as suas prioridades temporais. Esta necessidade é evidente quando, por exemplo, está em jogo a introdução de um novo produto no mercado. Além disso, e devido às fontes de incerteza, os objetivos ou prioridades dos projetos podem mudar ao longo do tempo. Os autores consideram que a prioridade de um projeto é, também, determinada a partir da procura e interesse do mercado no projeto a ser desenvolvido. O modelo, apresentado por estes autores, permite gerir a alocação dos recursos existentes pelos diferentes projetos em curso, tentando respeitar as prioridades e prazos necessários. Note-se que as prioridades da empresa, relativamente aos projetos, podem alterar-se, dependendo da procura do mercado (influência que o produto terá no mercado). A prioridade de um projeto também depende da dificuldade tecnológica. Assim, a prioridade global será dada por uma função, que dependa da procura de mercado e da dificuldade tecnológica. Pode, ainda, definir-se o peso de cada um destes fatores. A determinação destes pesos e dos valores para a procura de mercado e dificuldade tecnológica foram obtidos, para uma empresa real, através dos gestores de projeto mais antigos e experientes. Para a definição dos parâmetros do modelo de priorização, os autores utilizam simulação e regressão. O estudo feito pelos autores conclui que o desafio tecnológico domina a procura de mercado para a alocação de recursos. Os autores consideram que os projetos são divididos em diferentes fases, e o objetivo do modelo é, em cada fase, priorizar os projetos de forma a alocar da melhor forma os recursos disponíveis. As fases consideradas foram: estudo da viabilidade dos projetos (estudo e demonstração de tecnologia), elaboração de um protótipo (integração da tecnologia estudada) e desenvolvimento do produto para introdução no mercado. Para o estudo efetuado, os autores concluem que a maior parte dos recursos será afetada à primeira fase, enquanto a última fase terá uma afetação mínima. Como o desafio tecnológico se encontra, principalmente na primeira fase, conclui-se que o desafio tecnológico absorve a maioria dos recursos.

Farrukh *et al.* (2000) apresentam uma metodologia para selecionar e priorizar projetos de I&D, de forma a alocar, da melhor forma possível, os recursos disponíveis. O processo baseia-se no método *action research*. O método *action research* incorpora o aumento de conhecimento, através de aplicações práticas, isto é, através da implementação de um plano de ação. O processo que define o *action research* é um processo cíclico, que contém a recolha e análise de dados, depois de definido o

problema a estudar. Através do problema que se quer estudar e resolver, e da sua análise, é elaborado um plano de ação. Após a implementação das ações desse plano na sociedade em estudo, são verificadas as consequências e alterações no ambiente. Neste método, os analistas fazem parte do ambiente e envolvem-se na própria avaliação, já que eles discutem com os decisores e, por conseguinte, alteram o curso dos acontecimentos. As alterações verificadas no decurso do plano de ação, onde os analistas também participam e exercem influência, podem ser a resposta pretendida ou podem levantar outras questões, dando origem ao ciclo atrás referido. A avaliação de projetos de I&D feita pelos autores foi aplicada a projetos na indústria de aeronaves britânica e, para proceder a tal avaliação, foram feitos vários *workshops*, cujos intervenientes eram técnicos e especialistas de diferentes áreas. Este procedimento vai ao encontro do espírito do *action research*. O objetivo destes encontros foi selecionar critérios e respetivas importâncias, de forma a serem aplicados nos projetos de I&D. Os resultados destes encontros são, então, revistos e analisados pelos intervenientes, antes do *workshop* seguinte. Em cada encontro, reveem-se os resultados anteriores, definem-se objetivos, obtêm-se novas informações, abre-se a discussão e prepara-se o início do próximo *workshop*. Este processo permite selecionar e justificar os projetos de I&D escolhidos. Os dois grandes parâmetros de avaliação resultantes foram custos/benefícios tecnológicos e satisfação do cliente. Os custos/benefícios tecnológicos permitem avaliar os projetos, em termos tecnológicos. O critério relativo ao cliente permite avaliar os projetos, no cumprimento dos requisitos do cliente. Perante os resultados, é feita a alocação dos recursos necessários pelos diferentes projetos ou pelas tarefas de um mesmo programa de I&D.

2.5 Síntese do capítulo

Neste capítulo, pretendeu-se apresentar uma revisão sobre a avaliação de projetos de I&D, sendo dada mais ênfase à avaliação a partir de modelos de opções reais. Inicialmente foram caracterizados os projetos de I&D. Seguidamente, a avaliação de projetos de I&D, usando opções reais, foi analisada em detalhe, começando por apresentar a abordagem clássica de avaliação, para depois serem introduzidos os principais conceitos da teoria das opções reais. A flexibilidade operacional e a modelação de risco foram temas aprofundados, já que os projetos de I&D são caracterizados por estes dois fatores e os modelos de opções reais contemplam-nos. A teoria das opções reais foi mais analisada e detalhada, já que qualquer abordagem de avaliação, que recorra a esta teoria, necessita de todos os conceitos associados, bem como a incorporação da flexibilidade operacional e uma correta modelação do risco associado. Foram apresentadas diferentes abordagens de avaliação para determinar o valor das opções, sendo que o método de simulação LSM teve uma especial ênfase. Este destaque deve-se ao facto deste método ser utilizado numa das abordagens de avaliação apresentadas neste trabalho (Capítulo 4).

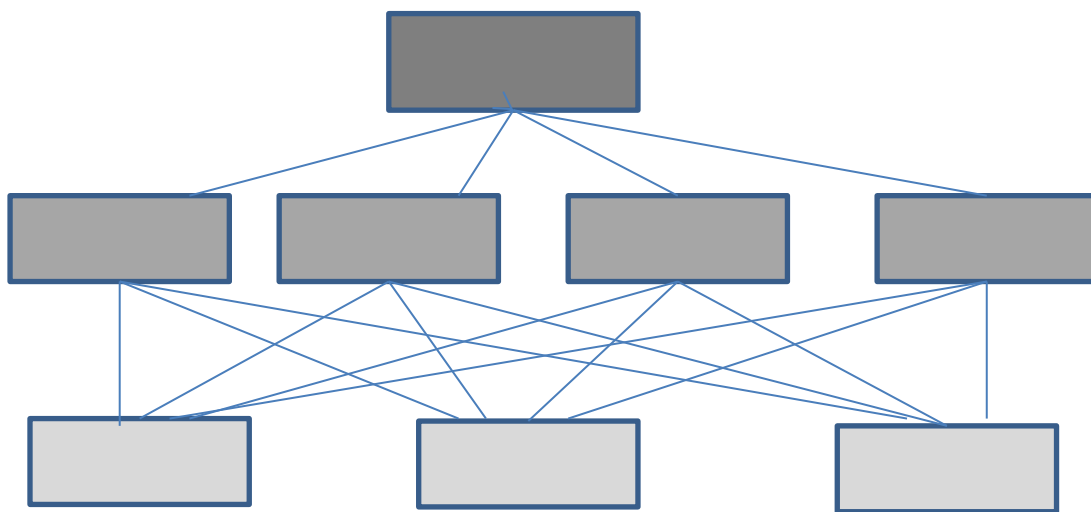
Foram, ainda, apresentados modelos de avaliação de projetos de I&D, que usam opções reais, tendo sido dado relevo a modelos de avaliação de I&D que usam o método LSM.

Em seguida, foram revistas outras formas de avaliação de projetos de I&D, que incluem metodologias utilizadas na outra abordagem de avaliação apresentada (Capítulo 3), como sendo a análise de decisão multicritério. Antes da apresentação da análise multicritério, foram introduzidos os modelos de *scoring*. Depois da apresentação da análise multicritério, fez-se referência a outras formas de avaliação de projetos de I&D, existentes na literatura.

Este capítulo realça a quantidade de métodos e modelos de avaliação de projetos de I&D existente na literatura. Todos eles partem de pressupostos diferentes e utilizam diferentes metodologias e ferramentas.

Capítulo 3

ABORDAGEM HIERÁRQUICA PARA AVALIAR PROJETOS DE I&D NA ÁREA DE TELECOMUNICAÇÕES



3. ABORDAGEM HIERÁRQUICA PARA AVALIAR PROJETOS DE I&D NA ÁREA DE TELECOMUNICAÇÕES

3.1 Introdução

Neste capítulo pretende-se apresentar uma abordagem hierárquica de avaliação de projetos de investigação e desenvolvimento (I&D) para uma empresa de telecomunicações. Os projetos de I&D deste tipo de empresa apresentam características específicas, de índole diversa, que devem ser devidamente enquadradas numa abordagem de avaliação, pelo que se entendeu ser desejável definir, de raiz, uma nova abordagem em vez de se optar por outras já existentes: a quantidade de recursos humanos disponíveis é a principal restrição que os gestores encontram, ou seja, a gestão dos projetos da empresa é feita, principalmente, com base na disponibilidade de recursos humanos; para além desta restrição, a seleção ou priorização de muitos projetos não tem em conta apenas aspetos financeiros, antes a empresa também valoriza projetos que promovam a sua imagem e popularidade, ou que sejam inovadores em determinadas áreas ou aspetos. Estas características levaram a que se definisse e construísse uma nova abordagem de avaliação, que tivesse em conta a política e estrutura da empresa. A abordagem resultou de um processo iterativo, que envolveu vários elementos da própria empresa. A solução encontrada propõe a comparação dos diversos projetos disponíveis e, posteriormente, a partir dos resultados obtidos, apoia a alocação dos recursos aos projetos a empreender. Note-se que os recursos mais importantes desta empresa são pessoas com diferentes tipos e níveis de especialização. A solução preconizada ajuda, portanto, os decisores a definirem a alocação das pessoas aos projetos.

A abordagem desenvolvida foi inspirada no processo desenvolvido para a *British Aerospace Military Aircraft and Aerostructures*, apresentado em Farrukh *et al.* (2000). Tal como nesse processo, as reuniões com elementos da empresa de telecomunicações foram frequentes e fundamentais. Logo nas primeiras reuniões, verificou-se que o planeamento dos trabalhos e respetivas previsões financeiras eram feitos com periodicidade anual. Este facto levou a considerar que informação mais rigorosa só podia ser requerida para esse tipo de periodicidade. As reuniões serviram, entre outros, para identificar, então, o tipo de informação existente na empresa, bem como o tipo de informação que é razoável solicitar, a curto prazo (devido ao planeamento ser, em geral, anual), aos responsáveis pelas *ações* e pelos *clusters* (unidades orgânicas da empresa definidas na Secção 3.2.). Esta informação é essencial para a construção do modelo de avaliação. As reuniões serviram, ainda, para decidir que se deveriam usar critérios gerais e subcritérios mais específicos, para definir esses critérios e subcritérios, bem como para definir os parâmetros que devem integrar a sua avaliação.

No processo de avaliação, foi utilizada uma estrutura hierárquica, baseada no processo hierárquico analítico (AHP) (Saaty 1980). O método AHP é muito utilizado, inclusivamente na avaliação de projetos de I&D (Secção 2.4.1.3 do Capítulo 2).

No entanto, na abordagem apresentada, alguns aspetos do AHP original foram modificados, de forma a poder ultrapassar algumas dificuldades, tais como o elevado número de comparações, a dificuldade em estabelecer certas comparações e a integração de critérios quantitativos e qualitativos.

A abordagem hierárquica, aqui apresentada, foi introduzida em Afonso *et al.* (2008) e em Fialho *et al.* (2008). Ao longo deste capítulo, a abordagem é descrita em detalhe. A sua estrutura: na Secção 3.2 é feito um enquadramento da abordagem de avaliação no seio da empresa; na Secção 3.3 é descrita a estrutura e a parte técnica da solução proposta para a avaliação; na Secção 3.4 o processo de utilização da abordagem de avaliação é apresentado; na Secção 3.5 é apresentado um exemplo; e a Secção 3.6 conclui.

3.2 Enquadramento da abordagem hierárquica de avaliação na empresa

Numa fase preliminar foi necessário compreender a estrutura da empresa na área da inovação, investigação e desenvolvimento. A apreensão desta estrutura, que em seguida se relata de forma sintética, ocorreu com o auxílio de elementos da empresa.

A empresa comporta dois grandes setores: serviços e projetos. Existem serviços de engenharia, de testes e consultoria, de formação e de divulgação da inovação. Os projetos podem incluir estudos e investigação aplicada, para aquisição de conhecimento e desenvolvimento de sistemas e serviços integrados de soluções de telecomunicações.

Os serviços e projetos dividem-se em grandes grupos com características próprias, aproximadamente definidos por áreas de conhecimento e denominados por *clusters*. Cada *cluster* é, por sua vez, composto por várias ações. Uma ação é um conjunto de tarefas com elevada inter-relação e com características e objetivos específicos. Os problemas de decisão, que se colocam ao nível da ação, são fundamentalmente diferentes dos que se colocam ao nível do *cluster*: enquanto os *clusters* requerem um planeamento estratégico a médio e longo prazo, as ações requerem um planeamento tático a curto prazo.

Dentro de um *cluster* podem, por vezes, identificar-se linhas de investigação diferentes, que se focam em obter serviços ou produtos específicos e independentes entre si. Justifica-se, portanto, um tratamento analítico individual de cada uma destas linhas de investigação, até porque uma mesma

linha pode ser partilhada por diferentes *clusters*, por haver necessidade de incorporar no mesmo produto ou serviço conhecimentos de áreas diferentes, e para duas linhas que pertençam totalmente ao mesmo *cluster*, pode ser favorável seguir uma delas e não outra. Este tipo de considerações fragiliza uma análise feita exclusivamente ao nível do *cluster*.

De forma a tratar estas linhas de investigação, foi definida uma nova entidade para as representar: o *agregado*. Sem existência formal na empresa, o *agregado* representa o que habitualmente se designa por projeto. A abordagem de avaliação desenvolvida baseia-se neste conceito, que é posteriormente integrado nas estruturas formais existentes na empresa (as *ações* e os *clusters*).

Dividiram-se os *agregados* em dois tipos:

- “estratégico”, em que se assumem objetivos de médio ou longo prazo,
- “de negócio”, em que se considera importante a obtenção de lucros a curto prazo.

Esta diferenciação permite que cada tipo de *agregado* seja tratado de forma diferente, de acordo com as suas características específicas. No entanto, ambos os tipos de *agregado* são planeados, em geral, a médio prazo (4 ou 5 anos).

As *ações* têm como objetivo adquirir conhecimento, desenvolver e/ou integrar serviços ou soluções, prestar serviços de engenharia, entre outros. Foram identificados vários tipos de *ações*:

- *Ações* de investigação exploratória (tipo 1), que se destinam a explorar e dominar tecnologias, mesmo que não venham a ser imediatamente aplicadas. Este tipo de *ação* é, pois, destinada ao desenvolvimento e/ou obtenção de novas competências.
- *Ações* de desenvolvimento experimental (tipo 2), que têm uma aplicação bem definida, estão integradas numa linha de investigação definida, e que são relevantes para o avanço dessa mesma linha. A par do desenvolvimento, pode haver também a aquisição de competências.
- *Ações* de desenvolvimento de um produto para venda imediata e serviços de engenharia (tipo 3), que visam desenvolver um produto ou serviço, ou que visam fornecer apoio à utilização de um produto já desenvolvido. Estas *ações* têm uma forte componente comercial, ainda que continuem a incluir o desenvolvimento ou a manutenção de um produto ou serviço. Neste desenvolvimento, pode, por vezes, não haver um comprador definido, mas o objetivo será gerar interesse imediato de clientes.

- Ações de gestão (tipo 4), que servem a estrutura organizacional da empresa, tais como ações ligadas à contabilidade ou ao planeamento. Devido à sua natureza, estas ações não foram integradas no processo de avaliação.

A diferenciação dos tipos de ações tornou-se essencial, pois cada tipo corresponde à prossecução de objetivos diferentes e a exigências diferentes de informação: por exemplo, uma ação do tipo 3 requer mais informação financeira do que uma ação dos tipos 1 ou 2. Na sequência de contactos com elementos da empresa, foi ainda estabelecido que se podem criar novos tipos de ações, se vierem a surgir, no futuro, algumas ações que não se enquadrem em nenhum dos tipos atrás definidos.

No que se refere ao processo de decisão organizacional, a empresa possui diversos níveis de tomada de decisão: decisões tomadas a nível de direção/administração da empresa; decisões tomadas pelos responsáveis de projeto (a nível do agregado); e decisões tomadas pelos responsáveis das ações. No entanto, na abordagem desenvolvida, apenas foram considerados dois níveis de decisão: o do agregado e o da ação. O ponto de decisão associado à direção/administração da empresa foi considerado através da parametrização de alguns critérios e ainda através da definição de agregados e ações típicas, vistas como 'de referência'.

A abordagem hierárquica de avaliação permite separar os dois níveis de decisão, sem esquecer a sua inter-relação. As decisões sobre a atribuição de recursos são separadas entre decisões estratégicas, aquando da alocação dos recursos ao nível dos projetos (agregados), e decisões táticas, aquando da alocação de recursos pelas ações que compõem cada agregado. Em ambos os níveis, foi definida uma estrutura hierárquica, que é usada, em primeiro lugar, para definir e estruturar os critérios e subcritérios relevantes, e determinar as suas importâncias relativas. Estas importâncias relativas ou pesos devem refletir as preferências institucionais, sendo assim definidas por representantes da administração da empresa. A avaliação dos agregados e das ações nos diferentes critérios e subcritérios é feita pelos respetivos responsáveis. A partir destes dados e da importância dos critérios e dos subcritérios, obtém-se uma avaliação ou prioridade global do agregado ou da ação. A avaliação dos agregados serve de base a decisões gerais sobre alocação de recursos, enquanto a avaliação das ações serve de base a decisões sobre alocação de recursos, mas dentro do respetivo agregado. A estrutura hierárquica considerada para as ações tem em conta a importância de cada ação no agregado correspondente, permitindo, assim, considerar a interdependência entre os dois níveis de avaliação.

A abordagem hierárquica de avaliação deverá, também, incentivar a identificação de oportunidades estratégicas e de flexibilidade operacional nas ações e agregados da empresa, através de uma judiciosa definição dos critérios utilizados. Desta forma, estas oportunidades estratégicas e flexibilidade

operacional passarão a ser um fator relevante nas decisões a tomar, levando os responsáveis pelas propostas a procurá-las ativamente. Nas diferentes reuniões realizadas, constatou-se que a flexibilidade operacional se reveste de diferentes formas nos dois níveis de avaliação considerados. A flexibilidade operacional pode ser vista como a capacidade que a empresa tem para proceder a correções ou adaptações, no decurso de um projeto, quando ocorrem acontecimentos que não eram expectáveis no cenário inicialmente considerado. A flexibilidade operacional adiciona valor ao projeto, maximizando os ganhos, se os desenvolvimentos ocorridos forem positivos, e minimizando as perdas, se esses desenvolvimentos forem negativos. É, pois, importante integrar a flexibilidade operacional na avaliação, de forma a incorporar corretamente o acréscimo de valor que a empresa terá, se responder de forma correta às situações que poderão ocorrer. As perspectivas relevantes sobre flexibilidade operacional diferem, de acordo com os níveis de avaliação considerados. A incorporação da flexibilidade operacional na avaliação dos agregados e na avaliação das ações foi realizada através da definição de subcritérios dos critérios operacionais e financeiros.

Durante o tempo de vida de um projeto, novas oportunidades de ações podem ocorrer, ou pedidos inesperados de clientes podem acontecer. Estes acontecimentos, não previstos e não contemplados na avaliação inicial, requerem uma reafetação dos recursos dentro do agregado e, conseqüentemente, nas ações que o integram, para dar seguimento às oportunidades ou solicitações que podem aparecer. O modelo de avaliação apresentado permite a integração destas situações, através da sua aplicação intercalar dentro dos agregados. Assim, deve proceder-se à avaliação das novas solicitações ou oportunidades como novas ações; reavaliam-se as ações que mostrem diferenças significativas relativamente ao plano inicial; utilizam-se estas avaliações e reavaliações para decidir se se deve ou não empreender as novas ações, e caso esta decisão seja positiva, deve decidir-se sobre os recursos a alocar a estas novas ações, e de onde devem ser retirados recursos. Assim, é possível reagir a novas situações a partir do modelo, de forma transparente, e usando a mesma estrutura de decisão utilizada inicialmente.

Após a avaliação dos agregados e a avaliação das ações que pertencem a cada agregado, é necessária a utilização de ferramentas que ajudem na alocação dos recursos de cada agregado, pelas diferentes ações que o compõem. Pretende-se, pois, encontrar a melhor alocação de recursos que permita responder às prioridades que vão sendo criadas. Os recursos mais importantes na empresa são as pessoas, pelo que a avaliação apresentada pretende estabelecer a melhor alocação possível das pessoas às ações e agregados.

A avaliação das ações permite obter uma prioridade global para cada ação. Este desempenho é, então, utilizado para determinar os recursos a atribuir a cada ação, de entre os recursos atribuídos ao agregado a que as ações pertencem. Esta atribuição pode ser feita usando um de dois procedimentos:

- Definição de prioridades (classificações) globais para cada ação, e seleção de ações, por ordem de prioridade. Neste processo de seleção, podem existir restrições, como níveis máximos e/ou mínimos de alocação.

- Utilização de programação matemática por forma a maximizar a soma das prioridades das ações selecionadas, tendo em conta restrições de recursos e outras consideradas relevantes, como limites de utilização de recursos em cada tipo de ação, mínimos para a pontuação agregada em alguns critérios ou subcritérios, etc.

Estes procedimentos não substituem o papel e o julgamento dos decisores, mas antes, completam e ajudam na tomada de decisões, já que tais procedimentos dão indicações valiosas, não descurando da sensibilidade dos decisores, para eventuais ajustes na construção de um portfólio equilibrado de ações.

3.3 Estrutura e desenvolvimento da solução proposta

Nesta secção descreve-se a estrutura da solução proposta, bem como as técnicas utilizadas para proceder à avaliação dos agregados e das ações. A avaliação dos agregados e a avaliação das ações baseiam-se em estruturas hierárquicas e, a partir destas estruturas, são calculados os pesos dos critérios e dos subcritérios. O cálculo desses pesos é feito com base no método AHP. A avaliação dos agregados e das ações, em cada subcritério, também é feita com base no método AHP. No entanto, quando os subcritérios são financeiros (quantitativos ou tangíveis), a avaliação dos agregados e das ações pressupõe um tratamento especial, de forma a encontrar uma avaliação comparável à que se obtém, quando se aplica o método AHP em subcritérios não financeiros, e também para garantir um tratamento uniforme dos valores financeiros em todas as ações e agregados. Para evitar um grande número de comparações, quando se infere o peso dos critérios e dos subcritérios ou quando se infere as prioridades dos agregados ou ações em cada subcritério, são utilizadas matrizes incompletas de comparações (Harker, 1987).

3.3.1 A estrutura da solução proposta

A avaliação dos agregados resulta na atribuição de uma prioridade global a cada um, sendo que uma maior prioridade global equivale a uma maior atratividade do agregado, e portanto, maior será o grau de satisfação com a alocação de recursos. A determinação destas prioridades globais baseia-se numa estrutura hierárquica. Agregando os pesos e prioridades, pode determinar-se a prioridade global de cada agregado.

A estrutura hierárquica, para a avaliação dos agregados, é a seguinte: no primeiro nível estão os tipos de agregado. A classificação utilizada, como descrito anteriormente, divide os agregados em “**tipo estratégico**”, em que se assumem objetivos de médio ou longo prazo, e “**tipo negócio**”, em que se considera importante a obtenção de lucros a curto prazo. Esta diferenciação permite que cada tipo de agregado seja tratado de forma diferente, de acordo com as suas características específicas.

No segundo nível encontram-se os critérios. Nas reuniões realizadas, obtiveram-se três critérios: estratégico, operacional e financeiro. No terceiro nível da hierarquia, encontram-se os subcritérios, que estão definidos na Tabela 3.1. Alguns destes subcritérios refletem a flexibilidade operacional, que existe durante o tempo de vida dos projetos de I&D, e que deve estar integrada em qualquer abordagem de avaliação que se pretenda aplicar a este tipo de projetos. Finalmente, no último nível da hierarquia, encontram-se os agregados.

Critérios	Estratégico	Operacional	Financeiro
Subcritérios	<ul style="list-style-type: none"> - Contribuição para a imagem da empresa - Liderança do mercado - Competências adquiridas - Parcerias estratégicas - Importância da credibilidade da empresa junto do cliente - Importância da tecnologia desenvolvida para o grupo PT 	<ul style="list-style-type: none"> - Incerteza técnica - Criticidade/escassez dos recursos necessários - Flexibilidade da solução - Dependência de terceiros - Satisfação imediata do cliente 	<ul style="list-style-type: none"> - Valor financeiro (valor atual líquido de médio/longo prazo, ou valor atual líquido a um ano + perspectivas de crescimento + tendência de mercado) - Perda esperada por abandono - Possibilidade de adiamento

Tabela 3.1 – Critérios e subcritérios na hierarquia dos agregados

Os subcritérios definidos para o critério estratégico pretendem valorizar os projetos que se integrem na estratégia da empresa e na sua relação com o mercado e/ou parceiros estratégicos.

Nos subcritérios identificados para o critério operacional, a incerteza técnica avalia os agregados, de acordo com as dificuldades que poderão surgir e com a possibilidade dessas dificuldades poderem ser ultrapassadas, em tempo útil. Serão penalizados os agregados que, por motivos técnicos, possam ver o seu desenvolvimento atrasado ou interrompido. A satisfação imediata do cliente beneficia mais os agregados que possam contribuir mais para a satisfação dos clientes. Os outros três subcritérios pretendem integrar a flexibilidade operacional, isto é, pretendem avaliar os agregados, de acordo com a capacidade de adaptação a novas situações ou imprevistos:

- A criticidade/escassez de recursos necessários considera a contribuição do agregado para a diminuição da flexibilidade da empresa como um todo. A utilização de recursos escassos, por parte de um agregado, pode inviabilizar o desenvolvimento de outros projetos. Estes recursos podem referir-se, quer a pessoal muito especializado, quer a equipamentos muito específicos. Este subcritério penaliza os agregados que, pelos recursos de que necessitam, possam colocar em causa o aproveitamento de oportunidades que possam surgir noutros agregados.

- A flexibilidade da solução refere-se à possibilidade de a solução adotada poder ser adaptada para utilizações diferentes das que estavam inicialmente previstas. Não sendo possível antever todas as novas utilizações que o produto poderá ter, se for desenvolvido com sucesso, devem ser incentivadas soluções de fácil adaptação, por forma a aproveitar oportunidades futuras que possam surgir. Este subcritério valoriza soluções com maior capacidade de adaptação.

- A dependência de terceiros pretende penalizar agregados cuja resposta a acontecimentos imprevistos, por parte da empresa, seja reduzida por esta não controlar na totalidade o processo de desenvolvimento. Apesar de se valorizar a relação com terceiros, é necessário ter em conta que um maior controlo do processo de desenvolvimento, por parte da empresa, leva a uma maior capacidade de resposta a acontecimentos imprevistos. Este subcritério beneficia, assim, projetos em que existe maior controlo do processo, penalizando os que estejam sob a responsabilidade de terceiros. A empresa deve beneficiar das relações com terceiros, mas sem depender demasiado da capacidade ou vontade destes.

No critério financeiro, tem-se em consideração que, enquanto existem agregados com informação suficiente para fazer previsões a médio ou longo prazo, existem outros, sujeitos a incerteza, que apenas permitem fazer previsões a um ano. A previsão de médio/longo prazo é definida como sendo um intervalo de tempo de 4 ou 5 anos. Neste critério financeiro, existem três critérios: valor financeiro, perda esperada por abandono, e possibilidade de adiamento. O valor financeiro corresponde a uma previsão para o valor atual líquido do agregado a médio/longo prazo. Caso não esteja disponível tal

valor, esse valor financeiro para o agregado é substituído por três subcritérios: o valor atual previsto para um ano, as perspectivas de crescimento e a tendência de mercado. A perda esperada por abandono e a possibilidade de adiamento também integram a flexibilidade operacional. A perda esperada por abandono considera a probabilidade de abandono e a perda em que a empresa incorre, no caso de abandono do projeto. Quanto maior a perda por abandono, mais irreversível será o projeto, e, portanto, menor será a flexibilidade operacional existente no mesmo. A probabilidade de abandono reflete a possibilidade de o projeto correr tão mal que valha a pena ser abandonado. Assim, este subcritério penaliza os projetos que, quer pela probabilidade de insucesso, quer pelos custos incorridos em tal situação, possam prejudicar a empresa. A possibilidade de adiamento favorece o desenvolvimento rápido dos agregados que possam ser afetados por atrasos, podendo levar ao adiamento na alocação de recursos a agregados cujo desenvolvimento possa sofrer menos com tal atraso. O adiamento pode, contudo, ter consequências positivas, como sendo a obtenção de mais informação, evitando o gasto desnecessários de recursos, e permitindo o avanço com mais certeza de sucesso, ou o não avanço, em caso de ambiente desfavorável. Este subcritério penaliza, pois, os agregados que integram este tipo de flexibilidade, pelo que a sua avaliação deve ser aferida, de acordo com as prioridades institucionais da empresa.

Os subcritérios financeiros permitem considerar agregados em que é possível fazer uma previsão financeira a médio ou longo prazo, e agregados em que tal previsão não é possível. Note-se que a previsão financeira anual é feita para todos os agregados e ações, donde é sempre possível conhecer o valor esperado para o horizonte de um ano. Deve, ainda, ter-se em consideração que, para os subcritérios que são diretamente medidos (como é o caso dos valores financeiros), a medida desses critérios deve ser convertida para a escala utilizada nos outros subcritérios. Esta conversão é, mais à frente no capítulo, detalhadamente explicada.

Os critérios e subcritérios, acima identificados e explicados, espelhando também fontes de flexibilidade, foram os identificados nas reuniões com elementos da empresa. A abordagem hierárquica de avaliação permite, no entanto, se necessário, acrescentar outros critérios ou subcritérios relacionados, quer com outras fontes de flexibilidade, quer com outros objetivos estratégicos. Note-se ainda que, sobre a flexibilidade operacional, esta difere consoante o tipo de agregado em consideração. Por exemplo, num agregado com características de negócio, a possibilidade de ajustamento rápido a uma situação imprevista é, em geral, mais importante do que num agregado com características mais estratégicas (as relações com terceiros, questões tecnológicas ou competências adquiridas serão mais importantes). Esta diferença de importância é tida em conta durante o processo de avaliação. A estrutura da hierarquia proposta é ilustrada na Figura 3.1.

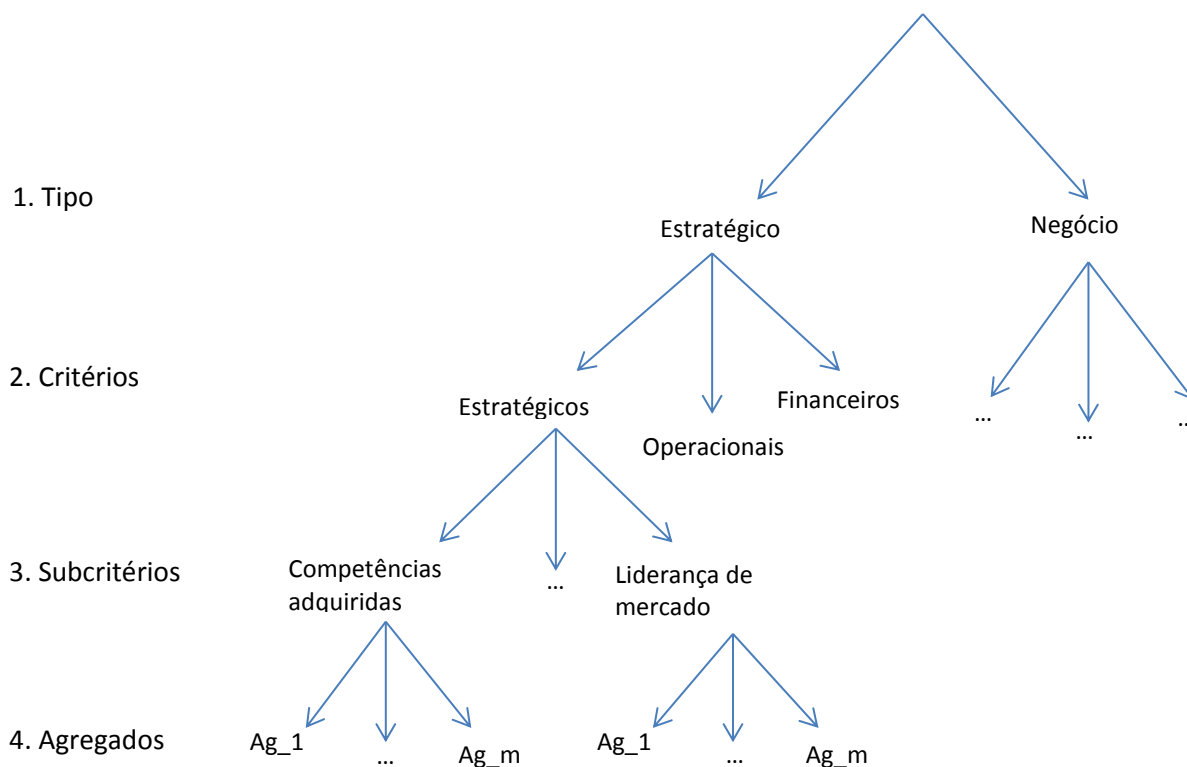


Figura 3.1 - Estrutura da hierarquia proposta para os agregados

A avaliação das ações baseia-se num processo semelhante ao dos agregados. A avaliação das ações resulta na atribuição de uma prioridade global a cada uma, sendo que estes valores serão utilizados para determinar os recursos que serão atribuídos a cada ação, de entre os recursos que foram atribuídos ao agregado a que a ação pertence.

A determinação destas prioridades globais baseia-se também numa estrutura hierárquica, onde no primeiro nível estão os tipos de ação (relembre-se que, na avaliação, não constam as ações do tipo 4). Esta diferenciação permite que cada tipo de ação seja tratado de forma diferente, de acordo com as suas características específicas.

No segundo nível da hierarquia, encontram-se os critérios, cuja identificação é a mesma do que no caso dos agregados: estratégico, operacional e financeiro. No terceiro nível da hierarquia, encontram-se os subcritérios, que estão identificados na Tabela 3.2. Como no caso dos agregados, alguns destes

subcritérios refletem a flexibilidade operacional. Finalmente, no último nível da hierarquia, encontram-se as ações.

Critérios	Estratégico	Operacional	Financeiro
Subcritérios	<ul style="list-style-type: none"> - Contribuição para a imagem da empresa - Liderança do mercado - Competências adquiridas - Parcerias estratégicas - Importância da satisfação do cliente - Importância da tecnologia desenvolvida para o grupo PT 	<ul style="list-style-type: none"> - Incerteza técnica - Criticidade/escassez dos recursos necessários - Dependência (operacional) de terceiros - Importância da ação para o agregado 	<ul style="list-style-type: none"> - Valor financeiro (valor atual líquido a um ano) - Perspetivas de crescimento - Tendência de mercado - Perda esperada por abandono - Possibilidade de adiamento.

Tabela 3.2 – Critérios e subcritérios na hierarquia das ações

O conjunto de subcritérios relativo ao critério estratégico, na hierarquia das ações, tem o mesmo sentido do conjunto de subcritérios definido para o critério estratégico, no caso dos agregados.

Os subcritérios identificados no critério operacional foram definidos de forma semelhante ao caso dos agregados, havendo apenas pequenas diferenças: enquanto para as ações, a dependência (operacional) de terceiros é puramente operacional, já no caso dos agregados, a dependência poderá ser “política”, na medida em que o processo de decisão não seja exclusivo da empresa; a criticidade/escassez de recursos necessários, apesar de semelhante ao subcritério com o mesmo nome nos agregados, refere-se aos recursos disponíveis para o agregado a que ação pertence. Repare-se que o subcritério flexibilidade de solução não se encontra nas ações, pois este critério refere-se a projetos globais e não tanto a tarefas mais específicas, como aquelas que definem, em geral, as ações. Também o subcritério satisfação imediata do cliente não está contemplado, já que o cliente avalia todo o projeto (agregado). A importância da ação para o agregado beneficia as ações que mais contribuem para o desenvolvimento e sucesso do agregado a que pertencem. Se forem identificadas outras fontes de flexibilidade, quer

para as ações, quer para os agregados, estas podem ser incorporadas, através de novos critérios/subcritérios.

No critério financeiro, contrariamente ao caso dos agregados, só existe a perspetiva financeira a curto prazo, que no caso, é de um ano. Para integrar a flexibilidade operacional, tal como no caso dos agregados, foram considerados os subcritérios perda esperada por abandono e possibilidade de adiamento. Estes subcritérios têm uma definição semelhante à que foi feita para os agregados.

Ainda sobre a flexibilidade operacional, também para as ações, a importância das suas fontes é diferente, mediante o tipo de ação considerada. Por exemplo, numa ação de desenvolvimento experimental, é mais importante saber reagir a acontecimentos imprevistos do que numa ação de investigação exploratória. O modelo de avaliação incorpora estas diferenças de importância nos diversos critérios e subcritérios. A hierarquia proposta é ilustrada na Figura 3.2.

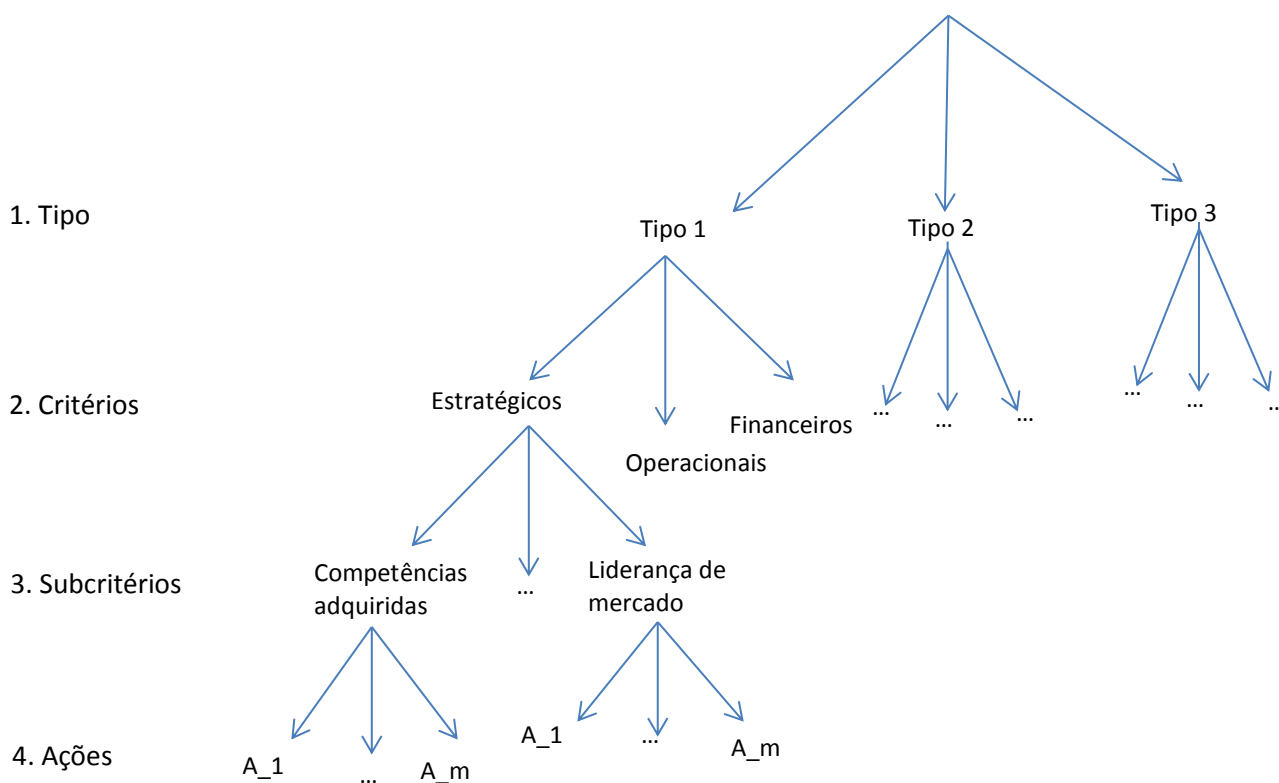


Figura 3.2 - Estrutura da hierarquia proposta para as ações

3.3.2 O método AHP

Para proceder à avaliação é necessário, numa primeira fase, definir os pesos de cada critério, em cada nível e as prioridades das alternativas em cada critério. A determinação dos pesos de cada critério e das prioridades das alternativas é feita com base no método AHP. Assim, nesta secção, o método AHP é apresentado, bem como algumas das suas limitações.

O método AHP estrutura o problema numa hierarquia, onde no seu topo está o objetivo principal, e depois, nos níveis inferiores, encontram-se os critérios, subcritérios, etc., e por fim, na base da hierarquia, encontram-se as alternativas (Godinho *et al.*, 2011). Para determinar o peso de cada critério/prioridade de cada alternativa, os agentes de decisão constroem uma matriz de comparações, a partir de uma escala pré-definida. A matriz de comparações é uma matriz quadrada A de ordem n , isto é, uma matriz de dimensão $n \times n$, onde n é o número de critérios/alternativas em consideração. A escala pré-definida faz corresponder um valor numérico a cada comparação. Depois de preenchida a matriz, é inferido um vetor de prioridades para os critérios/alternativas.

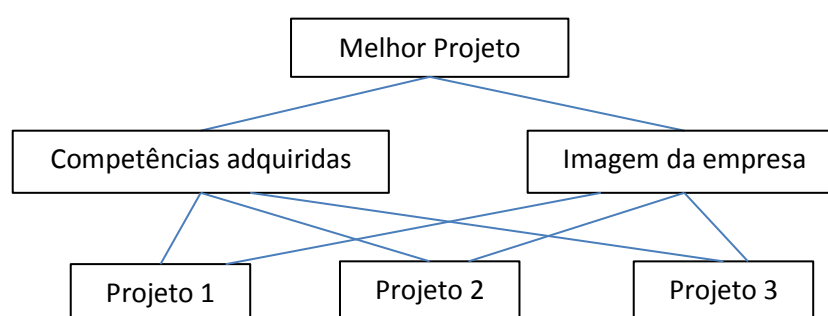


Figura 3.3 – Exemplo de uma estrutura hierárquica para a escolha do melhor projeto

Na Figura 3.3, é apresentado um exemplo simples de uma hierarquia para escolher o melhor de entre 3 projetos, com base em dois critérios: competências adquiridas e imagem da empresa. Em cada nível da hierarquia, os elementos são comparados dois a dois, relativamente aos elementos que estão no nível acima na hierarquia. No exemplo dado, os critérios “competências adquiridas” e “imagem da empresa” são comparados entre si em relação ao objetivo “melhor projeto”, e os três projetos, que são as alternativas, são comparados entre si em relação a cada um dos critérios “competências adquiridas” e “imagem da empresa”.

Para se proceder às comparações par a par, é necessária a utilização de uma escala de comparações. Saaty (2008) propõe uma escala de valores absolutos, sistematizada na Tabela 3.3.

Intensidade de Importância	Definição	Explicação
1	Igual importância	Os projetos contribuem igualmente para o objetivo
2	Fraca ou leve	
3	Importância moderada	A experiência e avaliação favorecem levemente um projeto em relação a outro
4	Moderada mais	
5	Importância forte	A experiência e avaliação favorecem fortemente um projeto em relação a outro.
6	Forte mais	
7	Muito forte ou importância demonstrada	Um projeto é favorecido muito fortemente em relação a outro; o seu domínio é demonstrado.
8	Muito, muito forte	
9	Importância extrema	A evidência de favorecimento de um projeto em relação a outro é de ordem máxima de afirmação.
Inversos dos valores acima	Se um projeto i tem um dos números diferentes de zero acima referidos em relação ao projeto j , em seguida, j tem o valor recíproco, quando comparado com i	Suposição razoável
1.1-1.9	Se os projetos em comparação são muito próximos	Pode ser difícil atribuir o melhor valor, mas, quando comparado com outros projetos, o tamanho dos pequenos números poderia não ser muito perceptível. No entanto, estes valores podem ainda indicar a importância relativa dos projetos.

Tabela 3.3 – Escala proposta por Saaty (2008)

Para o exemplo da Figura 3.3, no nível dos critérios, assume-se que o critério competências adquiridas é moderadamente menos importante do que o critério imagem da empresa. Assim, pode construir-se a seguinte matriz A de comparações:

$$\begin{array}{cc}
 & \begin{array}{cc} \text{competências adquiridas} & \text{imagem da empresa} \end{array} \\
 \begin{array}{c} \text{competências adquiridas} \\ \text{imagem da empresa} \end{array} & \begin{bmatrix} 1 & 1/3 \\ 3 & 1 \end{bmatrix}
 \end{array}$$

Note-se que os elementos da diagonal principal são iguais a 1, pois cada critério é igualmente importante a si próprio. Como o critério competências adquiridas é moderadamente menos importante do que o critério imagem da empresa, $a_{12} = 1/3$. Se assim é, o critério imagem da empresa é moderadamente mais importante do que o critério competências adquiridas, e portanto $a_{21} = 3$. Esta conclusão é válida para qualquer valor da escala, donde $a_{ij} = 1/a_{ji}$. Ou seja, para uma matriz quadrada de ordem n (matriz que compara n critérios ou n alternativas), são necessárias $n(n-1)/2$ comparações. Os elementos da matriz de comparações podem ter outra interpretação: os seus valores podem ser interpretados como a razão entre os pesos dos critérios/alternativas em comparação. Como $a_{21} = 3$, então o peso do critério imagem da empresa deve ser 3 vezes superior ao peso do critério competências adquiridas.

No exemplo da Figura 3.3, também se tem que comparar os três projetos (alternativas) nos dois critérios definidos. Assume-se que o projeto 1 é moderadamente menos importante do que o projeto 2, no critério competências adquiridas, mas levemente mais importante do que o projeto 3 (ou seja, adota-se, para esta comparação, o valor 2 da escala). O projeto 2 é assumido como sendo fortemente mais importante do que o projeto 3, no critério competências adquiridas. Em relação ao critério imagem da empresa, o projeto 1 é moderadamente mais importante do que o projeto 2 e tão importante como o projeto 3. O projeto 2 é fortemente menos importante do que o projeto 3 neste critério. As matrizes de comparações são, então, as seguintes:

$$\begin{array}{cc}
 & \begin{array}{ccc} 1 & 2 & 3 \end{array} \\
 \text{competências adquiridas:} & \begin{bmatrix} 1 & 1/3 & 2 \\ 3 & 1 & 5 \\ 1/2 & 1/5 & 1 \end{bmatrix}
 \end{array}
 \qquad
 \begin{array}{cc}
 & \begin{array}{ccc} 1 & 2 & 3 \end{array} \\
 \text{imagem da empresa:} & \begin{bmatrix} 1 & 3 & 1 \\ 1/3 & 1 & 1/5 \\ 1 & 5 & 1 \end{bmatrix}
 \end{array}$$

Para as matrizes que comparam critérios, é necessário inferir os pesos de cada critério; para as matrizes que comparam alternativas em cada critério, é necessário inferir as prioridades das alternativas nesses critérios. Estas prioridades/pesos são determinados a partir do vetor próprio associado ao valor próprio de norma máxima de cada matriz de comparações. O teorema de Perron (Farkas, 2007) diz que, em matrizes cujas entradas são valores reais positivos, o valor próprio de norma máxima é real positivo, e o seu vetor próprio associado também é composto por elementos reais positivos. As prioridades das alternativas/pesos dos critérios correspondem aos valores normalizados deste vetor próprio. A normalização pode ser feita de dois modos: modo distributivo, que corresponde à normalização, de forma que a soma dos elementos dê 1; e modo ideal, que consiste na normalização, de forma a que a maior prioridade seja igual a 1.

O modo mais comum é o distributivo, e é esse que se vai adotar. Assim, para o exemplo da Figura 3.3, o vetor dos pesos para os critérios competências adquiridas e imagem da empresa é

$$\begin{array}{l} \text{competências adquiridas} \\ \text{imagem da empresa} \end{array} \begin{bmatrix} 0.25 \\ 0.75 \end{bmatrix}$$

As prioridades dos três projetos, para cada um dos critérios são as seguintes:

$$\begin{array}{l} \text{competências adquiridas:} \\ 1 \\ 2 \\ 3 \end{array} \begin{bmatrix} 0.23 \\ 0.65 \\ 0.12 \end{bmatrix} \quad \begin{array}{l} \text{imagem da empresa:} \\ 1 \\ 2 \\ 3 \end{array} \begin{bmatrix} 0.41 \\ 0.11 \\ 0.48 \end{bmatrix}$$

Uma matriz de comparações, preenchida pelos agentes de decisão, pode conter algum tipo de incoerência, devido a algum tipo de intransitividade nessas comparações. Uma matriz A de comparações, totalmente coerente, é tal que $a_{ij} = \frac{W_i}{W_j}$, onde W_i e W_j são as prioridades das alternativas/pesos dos critérios para os elementos i e j , respetivamente. O método de Saaty propõe medir a incoerência através do índice de coerência (*consistency index*, CI), definido por $CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}$, onde λ_{\max} representa o valor próprio de maior norma da matriz de comparações. A interpretação do índice de coerência depende do tamanho da matriz (n). Saaty (1994a) propôs dividir o índice de coerência pela média de índices de coerência de matrizes de comparações geradas aleatoriamente. Este valor médio é designado por índice de coerência aleatório (*random consistency index*, RI) e o quociente entre CI e RI é designado como rácio de coerência (*consistency ratio*, CR) e é interpretado como uma medida de incoerência presente na matriz de comparações (Godinho *et al.*, 2011). Em geral, considera-se que a incoerência é aceitável para um rácio de coerência de valor

máximo de 10%, para matrizes de ordem superior ou igual a 5, de 8% para matrizes de ordem 4 e de 5% para matrizes de ordem 3. Note-se que para matrizes de ordem 2, o rácio de coerência é 0. De facto, para matrizes de comparações de ordem 2, não pode haver incoerência, já que apenas uma comparação é feita.

Assim, para o exemplo da Figura 3.3, o índice de coerência para a matriz de comparações dos critérios é 0; para a matriz de comparações em relação ao critério competências adquiridas, $CR=0.36\%$; e para a matriz de comparações em relação ao critério imagem da empresa, $CR=2.79\%$. Ou seja, o nível de incoerência, para ambos os casos de $n=3$, é aceitável.

Defina-se o vetor G , como o vetor das prioridades globais das alternativas (projetos). Cada prioridade global corresponde à agregação das prioridades dos elementos, em cada subcritério, com os pesos dos critérios e com os pesos dos subcritérios. Para determinar a prioridade global G_l de cada um dos projetos (alternativas) l , são multiplicadas as prioridades obtidas, em cada caminho da hierarquia (Figuras 3.1 e 3.2), desde o topo até às alternativas, e os valores que correspondem à mesma alternativa são somados. Isto é, a prioridade global da alternativa (projeto) de índice l é

$$G_l = \sum_{j=1}^{ncrit} W_j \left(\sum_{i=1}^{ns_j} (W_{ij} W_{ijl}) \right) \quad (3.1)$$

onde:

$ncrit$ é o número de critérios presentes no nível 2 da hierarquia;

W_j é o peso do critério de índice j do nível 2 da hierarquia, $j = 1, \dots, ncrit$;

ns_j é o número de subcritérios do nível 3 da hierarquia referente ao critério de índice j , $j = 1, \dots, ncrit$;

W_{ij} é o peso do subcritério de índice i do nível 3 da hierarquia pertencente ao critério de índice j , $i = 1, \dots, ns_j$, $j = 1, \dots, ncrit$;

W_{ijl} é a prioridade do agregado/ação, de índice l , em relação ao subcritério de índice i do nível 3 da hierarquia que pertence ao critério de índice j , $i = 1, \dots, ns_j$, $j = 1, \dots, ncrit$;

Note-se que esta agregação é aditiva e a sua utilização pressupõe a independência preferencial dos critérios e subcritérios, ou seja, é necessário que as preferências num critério ou subcritério, ou num

grupo de critérios ou subcritérios, não sejam afetadas pelas preferências noutros critérios ou subcritérios. A independência preferencial dos critérios é garantida pela forma como foi definida a estrutura hierárquica e os seus elementos: ao incluir, num primeiro nível, o tipo de agregado e ação, foi possível garantir esta independência. Note-se que, sem incluir este primeiro nível era possível que ocorressem violações da independência preferencial: em agregados com uma prioridade elevada no critério estratégico, uma pontuação alta no critério operacional e baixa no critério financeiro podia ser preferível a uma pontuação baixa no primeiro critério e alta no segundo; no entanto, se a prioridade do critério estratégico for baixa, estas preferências poderiam inverter-se. Ao definir o tipo de agregado, que indica qual a vocação prioritária de cada agregado, esta possível dependência desaparece. Um raciocínio semelhante podia também ser feito para as ações. Por outro lado, para os subcritérios, houve o cuidado de os definir por forma a que dois subcritérios meçam características diferentes e que não apresentem dependência entre si.

No exemplo da Figura 3.3, a prioridade global para cada projeto é obtida somando os produtos das prioridades dos projetos em cada critério pelo peso desse critério. Assim,

$$G_1 = 0.25 \times 0.23 + 0.75 \times 0.41 = 0.365$$

$$G_2 = 0.25 \times 0.65 + 0.75 \times 0.11 = 0.245$$

$$G_3 = 0.25 \times 0.12 + 0.75 \times 0.48 = 0.390$$

A partir destas classificações, conclui-se que o melhor projeto é o projeto 3, seguido pelo projeto 1. Como foi utilizado o modo distributivo para determinar as prioridades em cada matriz de comparações, a soma das prioridades globais é igual a 1. Caso se tivesse utilizado o modo ideal, poder-se-ia normalizar as prioridades globais, de forma a que a maior pontuação fosse 1, isto é, dividia-se o vetor das prioridades pelo valor máximo desse vetor.

O método AHP é muito flexível e tem muitas aplicações. No entanto, o método AHP apresenta alguns problemas e limitações. Algumas dessas limitações são, em seguida, apresentadas. As limitações apresentadas não se revelaram um problema para a aplicação da abordagem hierárquica de avaliação. As limitações que se mostraram problemáticas para a abordagem de avaliação apresentada, serão apresentadas na secção seguinte, bem como a forma como se lidou com essas limitações.

3.3.2.1 Alteração da ordem das alternativas

Um dos problemas do método AHP é a alteração da ordem das alternativas, quando uma alternativa irrelevante é adicionada, e os critérios se mantêm inalterados (Belton e Gear, 1983). Esta alteração da ordem deve-se à modificação dos valores relativos entre as prioridades locais, isto é, entre as prioridades em cada critério. Considerando o modo distributivo, como a soma das prioridades dá um, a introdução de uma nova alternativa pode alterar as prioridades locais e, conseqüentemente, as prioridades globais podem sofrer alterações (Ishizaka e Labib, 2011). Para ultrapassar esta dificuldade, Belton e Gear (1983) propuseram, então, o modo ideal para o cálculo das prioridades, mas também este processo está sujeito ao fenômeno de alteração da ordem (Saaty e Vargas, 1984). Esta alteração de ordem, usando o modo ideal, acontece, por exemplo, introduzindo uma alternativa que é a cópia de outra em dois de três critérios, mas onde, no terceiro critério, a nova alternativa, é a melhor. Esta situação leva a prioridades e normalizações diferentes, o que pode implicar alteração na ordem das prioridades globais das alternativas. A preservação da ordem depende, também, da normalização usada, que é analisada em Millet e Saaty (2000).

Belton e Gear (1985) propuseram, em seguida, que se uma nova alternativa fosse introduzida, então os pesos dos critérios, que se estão a considerar na avaliação das alternativas, deveriam ser alterados. No entanto, isto contradiz a independência do AHP relativamente aos critérios e alternativas (Ishizaka e Labib, 2011). Vargas (1985) não se opõe à alteração da ordem, pois defende que um método não deve ser utilizado apenas quando origina os resultados pretendidos (preservando a ordem). Wang e Elhag (2006) propõem a normalização das prioridades, com exceção da alternativa que foi introduzida.

Esta alteração da ordem, quer com a introdução de uma nova alternativa (mesmo que irrelevante/cópia), quer com a remoção de uma alternativa, está amplamente discutida em várias publicações científicas. Existem autores que criticam este fenômeno de alteração da ordem (Dyer, 1990a; Dyer 1990b; Holder, 1990; Holder, 1991; Stam e Duarte Silva, 2003) e outros que legitimam este fenômeno (Harker e Vargas, 1987; Harker e Vargas, 1990; Saaty, 1986; Saaty, 1990a; Saaty, 1991; Saaty, 1994b; Saaty, 2006). Apesar de a alteração do ranking se verificar em muitas situações, Saaty (1997) defende que, usualmente, a ordem das alternativas é mantida se as alternativas são comparadas entre si, mas relativamente a um padrão ideal. Caso as alternativas sejam comparadas entre si, diretamente, sem nenhum padrão ideal definido, a alteração da ordem pode acontecer. Quando não há padrão ideal, preservar a ordem das alternativas quando se modificam os critérios ou alternativas, mas não os julgamentos, é muito difícil. Diz respeito ao agente de decisão, determinar se se deve ou não preservar a ordem, quando se alteram critérios e/ou alternativas. Saaty (1994b, 1997) afirma que a alteração da ordem não é um problema, desde que o método AHP seja corretamente

aplicado. Ishizaka e Labib (2011) acreditam que o fenómeno de alteração da ordem (que nem sempre surge) acontece como um efeito secundário e não tanto como um resultado credível do procedimento.

Para evitar o fenómeno da alteração da ordem, Barzilai e Lootsma (1997) sugerem a utilização da agregação multiplicativa, em vez da agregação aditiva, utilizada no AHP tradicional. Note-se que, na normalização aditiva, existe sempre um conjunto de vetores de prioridades sujeitos à alteração da ordem (Barzilai e Golany, 1994). Barzilai e Golany (1994) apresentam um conjunto de axiomas, de forma a inferir a partir de matrizes de comparações, matrizes de rácios de pesos, em vez de vetores de pesos. Os autores defendem que só assim podem evitar a alteração da ordem, apesar de defenderem que este fenómeno não é nenhuma “falha fatal”, já que, usando uma estrutura correta de rácios, esse fenómeno já não ocorre. No entanto, Vargas (1997) defende que a agregação aditiva é a única que devolve, corretamente, as prioridades das alternativas (Ishizaka e Labib, 2011).

Wang e Luo (2009) apresentam outros métodos de apoio à decisão, em que o fenómeno da alteração da ordem acontece. Os autores defendem que este poderá ser um fenómeno normal que ocorre com a normalização das prioridades. No entanto, também defendem que a normalização não deve ser evitada, já que permite que as diferenças em termos de unidades sejam eliminadas.

Este fenómeno da alteração da ordem ainda é um problema bastante debatido e sem consenso, devido à agregação de preferências transpostas de escalas com diferentes unidades. Esta transposição não é facilmente interpretável, e é também considerada bastante questionável por algumas escolas (Ishizaka e Labib, 2011).

No caso específico da abordagem hierárquica aqui apresentada, considerou-se que a alteração da ordem das alternativas não é, em geral, um problema grave. Apesar desta opinião, foi tido em conta que a possibilidade de ocorrer uma alteração da ordem podia causar desconforto nalguns utilizadores. Assim, foi definida uma forma de utilização da solução em que esta alteração não ocorre. Esta forma de utilização consiste na avaliação de cada alternativa em relação a um conjunto de alternativas padrão ou, usando a terminologia associada à abordagem, alternativas “de referência”. Se os avaliadores optarem por esta forma de utilização da solução, então a introdução de uma nova alternativa nunca poderá causar a alteração da ordem das restantes.

Apesar do fenómeno de alteração da ordem, é possível atingir o compromisso entre a usabilidade e uma boa modelação (Ishizaka e Labib, 2011). Na prática, este método é bastante utilizado na tomada de decisões, já que a sua estrutura hierárquica é simples de utilizar e bastante intuitiva. A utilização deste método permite a avaliação verbal e a análise de coerência dessa avaliação. Este é, também, um método que facilmente se integra num software ou numa folha de cálculo.

3.3.2.2 A escolha e utilização das escalas no AHP

Em geral, as escalas de comparações têm a vantagem de possibilitar a avaliação de critérios qualitativos e quantitativos, a partir de uma avaliação numérica, verbal ou gráfica. A escala de comparações proposta por Saaty (inteiros de 1 a 9 e seus inversos) é uma escala muito simples e simétrica. As respostas verbais (que estão associadas a números) são mais intuitivas e usuais no dia a dia do que a utilização direta de valores numéricos. No entanto, podem existir comparações difíceis de estabelecer, o que pode levar a certas ambiguidades, mesmo na utilização de linguagem verbal (Ishizaka e Labib, 2011; Donegan *et al.*, 1992). Alguns autores defendem que não se deve utilizar uma escala de raios, pois existem casos em que não existe um zero absoluto, como é o caso da temperatura ou da tensão elétrica (Bana e Costa e Vansnick, 1994; Barzilai, 2005). Para estes autores, faz sentido a utilização de raios de diferenças para todas as situações. Isto porque, apesar do raio entre duas temperaturas não fazer sentido, o raio entre a diferença de temperaturas já tem significado. Por estas razões, Barzilai (2005) considera uma falha a utilização de uma escala de raios na inferência da importância de um conjunto de alternativas, já que considera que escalas de raios para definir preferências são indefinidas. Barzilai (2005) propõe a construção de escalas, definidas a partir de raios de diferenças. Bana e Costa e Vansnick (1994), na construção do seu método MACBETH para inferir prioridades, conduzem o agente de decisão a quantificar e avaliar alternativas através de julgamentos verbais sobre diferenças de atratividade entre os elementos ou alternativas a avaliar. Este procedimento pode não ser fácil de implementar, pois exige que as respostas do agente de decisão sejam suficientemente coerentes para se poder construir a tal escala de diferenças que irá permitir a ordenação dos elementos em avaliação.

A utilização direta de escalas de raios, como é a de Saaty, permite a comparação direta entre alternativas e, apesar da oposição de alguns autores a escalas de raios, Saaty (1994b) defende que uma escala de raios é a única possibilidade quando se pretende agregar medidas, como na agregação das prioridades das alternativas nos diferentes critérios (Ishizaka e Labib, 2011).

Teoricamente, não existe razão para não se considerarem outros valores para a escala de comparações. Apesar do significado/gradação verbal dos valores da escala não estar muito aprofundado, diversas escalas foram já propostas (Ishizaka e Labib, 2011). Harker e Vargas (1987) apresentaram uma escala quadrática e outra partindo de raízes quadradas, mas concluíram que a de Saaty é melhor, apesar de apenas terem utilizado um exemplo (Ishizaka e Labib, 2011). Lootsma (1989) apresenta uma escala geométrica e Salo e Hämäläinen (1997) criticam a escala de Saaty pela falta de sensibilidade quando se comparam alternativas muito próximas umas das outras. Para tal, estes últimos autores propõem uma escala equilibrada de forma a que os pesos dos critérios/alternativas estejam integrados regularmente no intervalo [0.1,0.9]. Ma e Zheng (1991) propõem duas escalas onde existe linearidade nos inversos dos elementos x ($1/x$), em vez da linearidade dos valores de x da escala de Saaty (Ishizaka

e Labib, 2011), isto é, para $x=1, \dots, 9$, a escala é $(9+x)/(11-x)$ ou $9/(10-x)$. Estas duas escalas podem denominar-se, respetivamente, 10/10-18/2 e 9/9-9/1. Outras escalas podem ser encontradas, como sendo a escala assintótica (Donegan *et al.*, 1992), a escala que mistura escala verbal e escala geométrica (Ji e Jiang, 2003) ou escalas que integram valores negativos (Millet e Schoner, 2005; Saaty e Ozdemir, 2003). Beynon (2002) faz uma comparação entre 5 escalas: original de Saaty, 10/10-18/2, 9/9-9/1, assintótica e escala 1.1-1.9. Esta última é mais utilizada para alternativas em avaliação que sejam próximas umas das outras e foi também proposta por Saaty (1990b). Beynon (2002) analisa o número possível de combinações para o preenchimento de uma matriz de comparações para 3 alternativas, tendo em conta níveis de coerência aceitáveis. A escala original de Saaty (1-9 e seus inversos) é a que tem menos combinações e a escala 1.1-1.9 é a que tem mais combinações possíveis. Para um rácio de coerência de 5%, as escalas foram comparadas para inferir, para cada uma das 3 alternativas, o intervalo possível para as prioridades, W_1 , W_2 e W_3 , de forma a respeitar o rácio de coerência, sendo que $W_1 \geq W_2 \geq W_3$. Em geral, a escala original de Saaty oferece um intervalo maior para cada uma das prioridades.

Dong *et al.* (2008) também comparam diferentes escalas. Estes autores comparam a escala original de Saaty, a escala geométrica, a escala de Ma-Zheng e a escala de Salo-Hämäläinen. Começam por definir uma função para cada escala e dois algoritmos para avaliar o desempenho das escalas em vários exemplos. Os autores dividem as escalas em três categorias. Consideram que a escala original de Saaty só é adequada quando se utiliza o método tradicional de AHP (inferência das prioridades a partir do vetor próprio relativo ao valor próprio máximo). No entanto, pelo estudo dos autores, a melhor escala a utilizar no método AHP original é a escala geométrica. Esta escala geométrica é a escolhida pelos autores, apesar de, se esta for a escala escolhida, a inferência das prioridades dever ser feita, não pelo vetor próprio, como habitual no AHP, mas sim por outro método, denominado método logarítmico dos mínimos quadrados, introduzido por Crawford e Williams (1985). Dong *et al.* (2008) sugerem ainda um algoritmo, que permite aos agentes de decisão escolherem qual a melhor escala a utilizar.

Ribeiro *et al.* (2011) apresentam um método híbrido que combina um método de comparações com um método de *scoring*, para calcular pesos de critérios e ordenar alternativas nesses critérios. Este método foi construído para ajudar nas decisões multicritério de engenheiros de software. Numa primeira fase, são calculados os pesos dos critérios, partindo de uma matriz de comparações, que utiliza a escala de Ma-Zheng. O cálculo destes pesos não é feito utilizando o método AHP, mas sim utilizando a média geométrica (Crawford e Williams, 1985). A escolha da escala e do processo para calcular o peso dos critérios foi feita com base no estudo apresentado por Dong *et al.* (2008). Para este processo, Ribeiro *et al.* (2011) apresentam também o índice de coerência e o rácio de coerência devidamente adaptados à utilização da média geométrica para inferir os pesos dos critérios. Para ordenar as alternativas, é

construída uma matriz de comparações, em que as linhas correspondem às alternativas e as colunas aos critérios. Ou seja, em cada linha, o decisor descreve as alternativas em cada critério, a partir de uma escala. A escala utilizada nesta matriz é a escala de Ma-Zheng e o processo de cálculo utiliza também uma média geométrica que integra o peso dos critérios e esta última matriz de comparações. Quer na inferência do peso dos critérios, quer na construção da ordem das alternativas, a escala onde o decisor se apoia é composta pelos números inteiros positivos pares de 2 a 8, juntamente com os seus simétricos e o valor 0. Cada valor desta escala tem uma correspondência direta à escala de Ma-Zheng e à escala de Saaty. A partir dos valores que o decisor escolhe na escala apresentada, o método faz a conversão direta para a escala de Ma-Zheng. O método apresentado por Ribeiro *et al.* (2011) combina comparações par a par com *scoring*. Este método não estrutura o problema numa hierarquia de critérios nem trata critérios tangíveis. Por outro lado, todas as alternativas são avaliadas em cada critério. Se existirem muitos critérios ou se não for possível avaliar diretamente cada alternativa em cada critério, este método pode tornar-se difícil de aplicar.

Apesar das propostas de outras escalas, a escala linear proposta por Saaty é a mais usual, apesar de ter uma aplicação difícil, quando é necessário avaliar alternativas mensuráveis, como é o caso de, por exemplo, valores financeiros. A escala proposta por Saaty é mais útil quando se trata de assuntos mais subjetivos, apesar da dificuldade em analisar a eficácia de uma escala nesse tipo de temas (Ishizaka e Labib, 2011). Note-se que Saaty (1997) refere que se podem utilizar valores intermédios da escala que ele propõe. A escala por ele proposta dá o significado verbal para um conjunto de valores, mas nada impede que se utilizem valores intermédios. A escolha da melhor escala é difícil, e alguns autores defendem que essa escolha deve depender da pessoa e do problema de decisão (Ishizaka e Labib, 2011; Harker e Vargas, 1987; Poyhonen *et al.*, 1997).

No caso da abordagem hierárquica de avaliação apresentada, utilizou-se a escala de Saaty, mas com a possibilidade de utilizar outros valores que não estejam contemplados nessa escala. A escala de Saaty serve de suporte ao decisor, de forma a existir um significado verbal para os valores, mas qualquer valor real positivo pode servir para comparar duas alternativas.

3.3.2.3 Derivação do vetor das prioridades/pesos

O método AHP calcula as prioridades das alternativas/pesos dos critérios, a partir do vetor próprio associado ao valor próprio máximo da matriz de comparações par a par. Saaty apoia-se na teoria que pequenas perturbações numa matriz coerente implicam pequenas perturbações no valor próprio máximo e no respetivo vetor próprio. Logo, mesmo que a matriz esteja sujeita a pequenas perturbações ou incoerência, este método do vetor próprio sugerido por Saaty é utilizado, desde que a matriz não apresente um índice de incoerência muito elevado, isto é, desde que o valor próprio máximo da matriz

não se afaste muito do valor próprio máximo de uma matriz de comparações totalmente coerente. Numa matriz de comparações totalmente coerente de dimensão $n \times n$, o valor próprio máximo é n .

Antes do método AHP, já se faziam inferências de prioridades de alternativas (pesos de critérios), a partir de matrizes de comparações. A média por linha inferia as prioridades da seguinte forma: os elementos das colunas são somados; cada elemento da matriz é dividido pela soma da respetiva coluna; a prioridade é obtida, fazendo a média de cada linha desta nova matriz (Ishizaka e Labib, 2011). Este procedimento foi, posteriormente, substituído pelo AHP. O método AHP foi, pouco depois de ser apresentado, criticado devido ao problema de alteração da ordem. O processo para calcular as prioridades, que utiliza o vetor próprio associado ao valor próprio máximo da matriz de comparações, também foi criticado. A solução descrita por Saaty utiliza $A\mathbf{p} = \lambda_{\max}\mathbf{p}$, onde \mathbf{p} é o vetor próprio associado ao valor próprio de norma máxima λ_{\max} . Esta solução foi defendida por Saaty, pois uma pequena perturbação na matriz de comparações (tornando-a incoerente) provoca apenas uma ligeira perturbação no vetor próprio associado. Em alternativa ao vetor próprio, Crawford e Williams (1985) introduziram o método logarítmico dos mínimos quadrados para a inferência das prioridades das alternativas (pesos de critérios). O valor para as prioridades/pesos, que minimiza o erro entre as comparações introduzidas na matriz e o rácio das prioridades, é a média geométrica da linha correspondente da matriz. Este método é fácil de ser aplicado à mão e pequenas perturbações introduzidas na matriz de comparações também provocam pequenas alterações no vetor das prioridades. Este método também evita alteração de ordem, no sentido em que a aplicação da média geométrica às linhas ou às colunas resulta na mesma ordem das alternativas (Ishizaka e Labib, 2011). O método do vetor próprio de Saaty não admite esta propriedade, em matrizes incoerentes: a ordem das alternativas de uma matriz de comparações A pode não ser a mesma da matriz A^T . Note-se que o vetor próprio normalizado de A^T , numa matriz coerente, corresponde ao inverso das prioridades obtidas a partir do vetor próprio normalizado de A . No entanto, se a matriz de comparações tiver alguma incoerência, esta propriedade não se verifica e, pode até acontecer uma alteração de ordem das alternativas, quando se considera a matriz A^T em vez da matriz A . Esta situação não devia acontecer, já que em ambas as matrizes de comparações, os julgamentos são os mesmos. Apesar da evidência matemática de que este processo é melhor que o AHP, quando se aplicam simulações à utilização deste método e do AHP, não existem diferenças significativas (Ishizaka e Labib, 2011).

A derivação das prioridades/pesos só faz sentido se a matriz de comparações for coerente ou apresentar um índice baixo de incoerência. O cálculo do índice de coerência faz-se de forma diferente, mediante o método utilizado para inferir as prioridades/pesos. No entanto, e apesar da existência deste índice, podem existir matrizes de comparações com comparações contraditórias que levem a um valor aceitável para a incoerência, ou podem existir matrizes de comparações razoáveis com índices muito

elevados de incoerência (Ishizaka e Labib, 2011). Independentemente do método utilizado para derivação do vetor de prioridades, ficam sempre algumas dúvidas: a partir de que valor de incoerência se deve rejeitar uma matriz; se esse limite deve depender sempre da ordem da matriz; alterando a escala utilizada ou o método de inferência de prioridades/pesos, como se deve adaptar a definição de coerência de uma matriz de comparações.

Na abordagem hierárquica de avaliação apresentada neste capítulo, o método AHP serve de base para a inferência das prioridades das alternativas/pesos de critérios. Para a derivação dessas prioridades/pesos, utilizou-se o vetor próprio normalizado (com o modo distributivo) associado ao valor próprio máximo. O método AHP é de fácil utilização e implementação, para além de ser, frequentemente, aplicado a problemas reais.

Outros problemas se levantam na utilização do AHP, nomeadamente no grande número de critérios/alternativas a comparar e na combinação de critérios tangíveis com critérios intangíveis. Para a aplicação da abordagem de avaliação aqui apresentada, estes dois problemas foram aqueles cuja resolução se revelou fundamental. Nas próximas duas subsecções, irão ser descritas as metodologias encontradas para ultrapassar tais problemas.

3.3.3 Dimensão da matriz de comparações (número de critérios/alternativas a comparar)

A aplicação do método AHP pode trazer dificuldades, nomeadamente no número de comparações a efetuar para completar a matriz, e na dificuldade em comparar alternativas que podem ser muito diferentes (Godinho *et al.*, 2011). No tipo de empresa que se está a considerar, estas dificuldades são bastante visíveis, já que todos os anos é necessário selecionar ações, de entre um grande número de ações propostas, podendo este conjunto de ações ser muito heterogêneo, o que dificulta algumas comparações par a par. As comparações par a par de todas as alternativas poderia ser in comportável.

Existem, na literatura, algumas formas para ultrapassar as dificuldades referentes ao grande número de comparações. Triantaphyllou (1999) sugere um procedimento de dualidade para reduzir o número de comparações. Em vez de comparar duas alternativas, de acordo com um critério, este autor sugere comparar a importância de um critério em duas alternativas. Este procedimento permite reduzir o número de comparações, se o número de critérios for inferior ao número de alternativas menos um. No caso da abordagem aqui apresentada, este procedimento ainda leva a um grande número de comparações, já que o número de subcritérios é grande (subcritérios do critério estratégico, subcritérios do critério operacional e subcritérios do critério financeiro). Além disso, o tipo de comparações neste procedimento torna-se menos intuitivo do que as comparações que se fazem, tradicionalmente, no método AHP.

Islam e Abdullah (2006) propõem a redução do número de comparações através da redução do número de critérios. Os critérios a excluir seriam os que tivessem um peso muito pequeno. No caso da abordagem aqui proposta, os critérios são definidos pela gestão da própria empresa, o que leva a que a exclusão de critérios não seja aconselhável. Além disso, este procedimento não ultrapassa a dificuldade na comparação de alternativas muito diferentes.

Para ultrapassar a questão das comparações de alternativas muito diferentes, Saaty (1997) propõe a construção de *clusters* de alternativas homogêneas. Após a construção, esses *clusters* ordenam-se por ordem de semelhança. As alternativas do primeiro *cluster* são comparadas e as prioridades calculadas. A alternativa do primeiro *cluster* mais semelhante às alternativas do segundo *cluster* transita para este segundo *cluster* e são calculadas as prioridades deste segundo *cluster* alargado. A alternativa do segundo *cluster* mais parecida com o terceiro *cluster* é para lá deslocada. O processo continua até ao último *cluster* e até estarem calculadas todas as prioridades. O elemento comum a dois *clusters* consecutivos permite calcular as prioridades que são consistentes em diferentes *clusters*: se, por exemplo, a alternativa comum a dois *clusters* consecutivos tiver prioridade 0.2 e 0.05, respetivamente, então, dividindo as prioridades do primeiro *cluster* por quatro, obtêm-se prioridades consistentes com as prioridades dos elementos do segundo *cluster*. Este método permite reduzir o número de comparações e lidar com alternativas bastante diferentes. Triantaphyllou (1995) propõe a utilização de programação linear para combinar comparações de duas matrizes com elementos comuns, de forma a obter as prioridades dos elementos das duas matrizes. Esta forma é mais abrangente, já que permite lidar com mais do que um elemento comum a dois *clusters*.

Quando se pretende construir uma matriz de comparações para um conjunto de alternativas ou critérios, pode acontecer que não se consiga estabelecer comparações par a par para todas as alternativas, ou que esse processo seja demasiado moroso, se o número de alternativas for elevado. Como se viu na introdução do método AHP, para calcular as prioridades das alternativas numa matriz (quadrada) de comparações, são necessárias $n(n-1)/2$ comparações, sendo n o número de alternativas/critérios a comparar e, portanto, n é a ordem da matriz. Se uma matriz de comparações estiver incompleta, é necessário encontrar ferramentas que ajudem na inferência do vetor das prioridades. Quando existem apenas $n-1$ comparações, é possível inferir os restantes elementos da matriz, de forma coerente. Para tal, é suficiente que essas $n-1$ comparações estejam em colunas diferentes da matriz, e apenas num dos triângulos da matriz. Note-se que, por exemplo, numa matriz

de comparações temos, em termos de preferência P , que
$$\begin{cases} P(Ac_j) = a_{jk}P(Ac_k) \\ P(Ac_j) = a_{jh}P(Ac_h) \end{cases}, \text{ onde } Ac_i \text{ representa}$$

a i -ésima ação em avaliação. Daqui é imediato que $P(Ac_k) = \frac{a_{jh}}{a_{jk}}P(Ac_h)$, ou seja, $a_{kh} = \frac{a_{jh}}{a_{jk}}$ e

$a_{hk} = \frac{a_{jk}}{a_{jh}}$. Neste sentido, é possível inferir todos os valores da matriz de comparações de forma

coerente. Note-se que está presente o princípio de transitividade, que pode ser estendido a

$$a_{ij} = a_{ik} a_{km} \dots a_{vj}.$$

Numa matriz de comparações totalmente coerente, o valor próprio máximo é n , e o seu vetor próprio associado normalizado W corresponde às prioridades das alternativas (pesos dos critérios) em comparação. Numa matriz de comparações totalmente coerente, $a_{ij} = W_i / W_j$, $i = 1, \dots, n$ e $j = 1, \dots, n$, e o índice de coerência é, naturalmente, 0 (Kablan, 2004).

No entanto, se a matriz for muito grande ou se existirem mais do que $n - 1$ comparações e a matriz for ainda incompleta, o processo de inferência dos valores da matriz, partindo do processo explicado anteriormente, pode ser muito moroso ou pode acontecer que a matriz de comparações não seja totalmente coerente, apesar de incompleta. Neste caso, o método apresentado por Harker (1987) apresenta-se como uma alternativa para a inferência das prioridades das alternativas (pesos dos critérios) e construção da restante matriz de comparações. O método começa por criar uma matriz nova H , baseada na matriz incompleta de comparações A . A matriz H é definida da seguinte forma:

$$h_{ij} = \begin{cases} a_{ij}, & \text{se } a_{ij} > 0 \text{ e } i \neq j \\ 1 + \text{número de células vazias da linha } i, & \text{se } i = j \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases}$$

O vetor próprio normalizado associado ao valor próprio máximo da matriz H é uma aproximação do vetor das prioridades das alternativas/pesos dos critérios. Com este vetor de prioridades/pesos, pode calcular-se o rácio de coerência, preencher os restantes elementos da matriz de comparações e perceber se se devem ou não rever julgamentos. Se a matriz for suficientemente coerente, pode completar-se a matriz de comparações.

Veja-se o seguinte exemplo para $n = 4$, numa matriz de comparações de critérios.

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1/3 & 3 \\ & 1 & & 4 \\ & & 1 & \\ & & & 1 \end{bmatrix}$$

Nesta matriz, é possível preencher os valores do triângulo inferior da matriz que se encontram na posição simétrica. No entanto, não é possível inferir diretamente, por exemplo, valores como o valor a_{23} . A matriz H será, para este exemplo,

$$H = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1/3 & 3 \\ 1/2 & 2 & 0 & 4 \\ 3 & 0 & 3 & 0 \\ 1/3 & 1/4 & 0 & 2 \end{bmatrix}.$$

O vetor próprio normalizado da matriz H , correspondente ao valor próprio de norma máxima, é uma aproximação para os pesos dos critérios, sendo ele $W = [0.212 \ 0.150 \ 0.586 \ 0.052]^T$. Com estes valores é possível preencher o resto da matriz e indicar, quer o índice de coerência, quer o rácio de coerência. Os restantes elementos da matriz são preenchidos desta forma: $a_{ij} = \frac{W_i}{W_j}$. Neste caso, o rácio de coerência é de 0.031 (inferior a 10%). Se este valor fosse demasiado grande ou o decisor não concordasse com os resultados, poderia repetir o processo, refazendo os seus julgamentos iniciais.

Ainda sobre o problema do número muito elevado de comparações, quando o número de alternativas é elevado, Hotman (2005) sugere a utilização de alternativas de referência. O autor sugere a definição de alternativa(s) base, e todas as alternativas em avaliação são comparadas com esta base. As prioridades para as alternativas em avaliação são, assim, facilmente calculadas e o número necessário de comparações é reduzido. Além disso, este processo evita comparar alternativas que sejam muito diferentes entre si.

A abordagem hierárquica apresentada neste capítulo conjuga algumas das ideias aqui apresentadas, nomeadamente na utilização de referências e na utilização da metodologia de Harker (1987) para matrizes incompletas. Estas utilizações serão descritas, em detalhe, na Secção 3.4., quando se expõe a utilização da solução proposta.

3.3.4 Combinação de critérios tangíveis e intangíveis no AHP

O AHP utiliza matrizes de comparações, onde os valores introduzidos traduzem as preferências nas comparações entre alternativas. Ora, existem critérios que naturalmente assumem valores numéricos. Estes critérios são designados por critérios tangíveis. Um exemplo de um critério tangível será o preço de um produto. Os valores assumidos neste exemplo são unidades monetárias e não podem ser diretamente usados na comparação ou avaliação de alternativas no AHP; têm que ser convertidos na escala de prioridades utilizada.

Os critérios tangíveis utilizados na abordagem hierárquica proposta correspondem a valores financeiros, como por exemplo, o VAL, e podem assumir, quer valores positivos, quer valores negativos.

Saaty (1994a) propôs duas formas para lidar com critérios tangíveis: i) converter diretamente os valores dos critérios tangíveis em prioridades, através de uma normalização dos valores; ii) definir as importâncias relativas através de comparações, isto é, tratar os critérios tangíveis da mesma forma que os intangíveis, a partir de comparações entre os valores.

Para o caso da abordagem de avaliação proposta, nenhuma destas formas foi considerada adequada, quando se trata de critérios tangíveis, que serão os financeiros. A primeira forma foi rejeitada, pois podem existir valores negativos nos critérios financeiros. Além disso, a proposta de Saaty pressupõe linearidade nas preferências entre os valores, o que pode não acontecer. Esta conclusão foi tirada a partir das reuniões efetuadas na empresa para a construção da abordagem de avaliação. A segunda forma apresentada por Saaty (tratar critérios tangíveis como os intangíveis, comparando-os, a partir de uma escala) também não foi adotada. Apesar desta forma ser coerente no tratamento de critérios tangíveis e intangíveis, existem várias questões que limitam a sua utilização. A comparação entre valores em critérios tangíveis, relativos aos agregados ou ações, deve ser feita, por um lado, pelos respetivos responsáveis, já que pressupõe um conhecimento técnico dessas ações ou agregados. No entanto, comparações entre valores financeiros devem ser feitas, por outro lado, de acordo com a política da empresa e, portanto, através da gestão de topo da empresa. Uma das hipóteses seria comparar intervalos de valores (Saaty, 1997) para os valores financeiros (critério tangível) e, a partir dessas comparações, aplicar o método AHP para obter a importância relativa de cada um desses intervalos. No entanto, esta possibilidade deixa um problema: se um dos intervalos para o VAL for, por exemplo, [5000€, 10000€ [, então um agregado com um VAL de 5000 € teria a mesma importância de outro agregado com 9999€ de VAL, enquanto que um agregado de 10000€ teria uma importância superior ao agregado com 9999€, apesar destes dois últimos valores do VAL serem muito semelhantes. Para ultrapassar esta dificuldade, alguns autores optam por utilizar números *fuzzy* para avaliar alternativas em critérios tangíveis e/ou para avaliar alternativas cuja informação em determinados critérios seja incompleta. Os autores que utilizam estes números recorrem a eles para todo o processo de avaliação, isto é, recorrem a este tipo de números para inferir os pesos dos critérios nos diferentes níveis da hierarquia, bem como para inferir as prioridades das alternativas nos diferentes critérios, quer tangíveis, quer intangíveis. Algumas aplicações desta teoria podem ser encontradas, por exemplo, em Kulak (2005), Kahraman e Cebi (2009) ou em Chan *et al.* (2008).

Millet e Schoner (2005) propõem um AHP bipolar, que lida com critérios cujos valores podem ter um impacto positivo ou negativo no objetivo ou prioridade global, como sendo o critério apresentado que

recorre ao VAL. Os autores consideram, em cada critério, a divisão das alternativas em duas categorias: as alternativas que contribuem positivamente para o objetivo geral e as alternativas que contribuem negativamente. Esta divisão vem do facto dos autores considerarem que as alternativas que contribuem negativamente para o objetivo geral devam ter prioridades negativas. As alternativas da mesma categoria são comparadas entre si e a normalização é feita a partir do modo ideal, apresentado quando se introduziu o AHP. Para os critérios tangíveis, esta normalização é feita assumindo que essas prioridades são proporcionais aos valores desses critérios tangíveis. Ora, na abordagem apresentada, os valores financeiros podem não ter preferências proporcionais, o que leva a não adotar esta metodologia. No entanto, poder-se-iam considerar as duas categorias mencionadas (dois grupos distintos que contribuem, respetivamente, positiva e negativamente para um mesmo critério) para os valores do VAL. Mas, para tal, esta metodologia também deveria ser adotada para todos os outros critérios, para não haver incoerência no tratamento do conjunto dos critérios. Fazer esta distinção entre as alternativas que contribuem positiva e negativamente para o objetivo geral, em todos os critérios, pode não ser fácil para os responsáveis, o que levaria a uma possível arbitrariedade.

Por não existir nenhuma metodologia que se adapte adequadamente aos critérios financeiros baseados no VAL para integrar na abordagem hierárquica de avaliação apresentada, decidiu-se criar uma abordagem própria que permitisse tratar os critérios tangíveis e, simultaneamente, permitisse integrar essa avaliação nos resultados de avaliação dos critérios não tangíveis. Este tratamento dos critérios financeiros (tangíveis) é apresentado na subsecção seguinte.

3.3.4.1 Tratamento de critérios financeiros tangíveis

Para os subcritérios financeiros, como sendo o VAL ou outro valor financeiro, considerou-se que a forma como os valores financeiros são convertidos para prioridades devia refletir as preferências organizacionais, e não ser feito de forma casuística consoante as ações ou agregados a serem avaliados. A solução encontrada passou por definir valores financeiros de referência, com o apoio da gestão de topo da empresa. A comparação entre estes valores financeiros de referência é, também, feita pela gestão de topo da empresa.

O intervalo que contém os valores financeiros de referência deve ter uma amplitude, tal que, qualquer previsão para valores financeiros de um agregado ou ação deva estar no interior desse intervalo. Assume-se também que as preferências são lineares para todos os valores pertencentes ao intervalo entre dois valores de referência consecutivos. Esta hipótese permite construir uma matriz ampliada de comparações com os valores financeiros de referência e com os valores financeiros para ações ou agregados. A partir dessa matriz de comparações, que pode ser incompleta, e aplicando o mesmo procedimento da secção anterior – metodologia de Harker (1987) - é possível inferir as prioridades de todos os valores. Retirando apenas as prioridades dos valores financeiros das ações ou agregados,

normalizam-se essas prioridades e obtém-se um vetor de prioridades para os valores financeiros das ações ou agregados em avaliação. Estas prioridades normalizadas podem ser utilizadas de forma idêntica às prioridades que se obtêm nos outros subcritérios não tangíveis.

Apresenta-se agora um exemplo. Quer este exemplo, quer a sua apresentação seguem de perto Godinho *et al.* (2011). Suponha-se que os valores de referência são -100, 0 e +100. A matriz de comparações é a seguinte:

$$\begin{array}{r} \begin{array}{ccc} -100 & 0 & 100 \\ -100 & \left[\begin{array}{ccc} 1 & 1/3 & 1/6 \\ 3 & 1 & 1/2 \\ 6 & 2 & 1 \end{array} \right] \\ 0 \\ 100 \end{array} \end{array}$$

Esta matriz de comparações leva às seguintes prioridades para os valores de referência: $W = [0.10 \ 0.30 \ 0.60]^T$, respetivamente para os valores -100, 0 e 100. Introduzam-se, agora, dois valores financeiros, -25 e 50. Assim, tendo em conta as prioridades dos valores de referência e assumindo a linearidade entre as preferências dos valores de referência -100 e 0, tem-se que como $-25 = -100 + 0.75(0 - (-100))$, então a prioridade do valor de -25 é $0.10 + 0.75(0.30 - 0.10) = 0.25$. Analogamente, pode determinar-se a prioridade do valor 50. Ora, $50 = 0 + 0.5(100 - 0)$. Assumindo a linearidade nas preferências entre os valores de referência, a prioridade do valor 50 é $0.30 + 0.50(0.60 - 0.30) = 0.45$.

Com esta informação, pode construir-se uma matriz ampliada de comparações que inclui os valores de referência e os valores financeiros introduzidos. A partir das prioridades encontradas, podem determinar-se as comparações par a par entre todos os valores de referência e cada um dos valores financeiros introduzidos. Por exemplo, a comparação entre o valor -100 e o valor -25 será o quociente entre a prioridade de -100 e a prioridade encontrada de -25. Isto é, a comparação entre -100 e -25 será $0.1/0.25$. Este raciocínio foi baseado no procedimento utilizado por Boucher e MacStravic (1991), na construção de matrizes de comparações para critérios tangíveis. No entanto, para o cálculo das prioridades das alternativas, os autores sugerem outras metodologias para além do vetor próprio associado à respetiva matriz de comparações, e não referem a utilização de valores de referência. O raciocínio utilizado acima para calcular a comparação entre os valores -100 e -25 também se aplica nas comparações entre os valores de referência e cada um dos novos valores introduzidos (-25 e 50). Note-se que muitos dos valores resultantes das comparações não pertencem à escala definida pelo método AHP (inteiros positivos de 1 a 9 e seus inversos). No entanto, de acordo com Saaty (1997), a escala por ele definida é apenas indicativa e serve para ajudar os agentes de decisão a estabelecerem

comparações. Mas se outros valores entrarem na matriz de comparações, o procedimento para encontrar as prioridades das alternativas mantém-se. A matriz ampliada de comparações será, então,

$$\begin{array}{c}
 \begin{array}{ccccc}
 & -100 & -25 & 0 & 50 & 100 \\
 -100 & \left[\begin{array}{ccccc}
 1 & 0.1/0.25 & 1/3 & 0.1/0.45 & 1/6 \\
 -25 & 0.25/0.1 & 1 & 0.25/0.3 & - & 0.25/0.6 \\
 0 & 3 & 0.3/0.25 & 1 & 0.3/0.45 & 1/2 \\
 50 & 0.45/0.1 & - & 0.45/0.3 & 1 & 0.45/0.6 \\
 100 & 6 & 0.6/0.25 & 2 & 0.6/0.45 & 1
 \end{array} \right]
 \end{array}
 \end{array}$$

Esta matriz de comparações não está completa, pois não foram introduzidas as comparações entre os valores financeiros introduzidos -25 e 50. Aplicando o procedimento apresentado por Harker (1987), para matrizes incompletas de comparações, é possível inferir as prioridades de cada um dos valores.

A partir da metodologia apresentada por Harker (1987), obtém-se o seguinte vetor de prioridades ou importâncias relativas: $[0.059 \ 0.147 \ 0.176 \ 0.265 \ 0.353]^T$. Como só existe interesse nas prioridades dos valores financeiros de -25 e 50, as prioridades correspondentes podem ser normalizadas, de forma a que a sua soma dê 1, levando a que a prioridade do valor de -25 seja 0.357 e a que a prioridade do valor de 50 seja de 0.643.

Neste exemplo, o vetor de prioridades apresentado acima podia ainda ser obtido por simples normalização do vetor que inclui as prioridades inicialmente determinadas para os valores de referência e para os valores financeiros a avaliar, isto é, por simples normalização do vetor $[0.1 \ 0.25 \ 0.3 \ 0.45 \ 0.6]^T$, não sendo necessário recorrer à segunda matriz de comparações. No entanto, isto ocorre apenas quando a matriz de comparações dos valores de referência apresenta perfeita coerência, isto é, quando o seu índice de coerência é nulo. No caso geral, quando não se pode assumir que a matriz de comparações dos valores de referência é perfeitamente coerente, é necessário efetuar todo o procedimento descrito.

Note-se que, por forma a definir de forma mais detalhada as preferências relativas a valores financeiros é necessário incluir um maior número de valores de referência. Na implementação efetuada na empresa, o processo foi simplificado pelo facto de os representantes desta terem dado a indicação de que se podiam assumir preferências lineares entre valores financeiros positivos. Com este pressuposto, basta incluir, no conjunto de valores de referência, o valor zero e um (ou nenhum) valor positivo. Se existir um valor positivo nos valores de referência, as prioridades correspondentes a este

valor e ao valor zero definem uma linha de tendência que permite realizar todas as comparações que envolvem valores positivos na matriz ampliada. Se não for incluído nenhum valor positivo, então a linha de tendência usada para definir as comparações com valores positivos recorre às preferências relativas ao valor zero e ao maior valor de referência negativo.

3.3.5 Alocação dos recursos às ações de cada agregado

Após a avaliação dos agregados e das ações, torna-se necessário encontrar ferramentas que ajudem na alocação dos recursos. Note-se que, no caso dos agregados, a solução implementada prevê que a distribuição de recursos tenha em consideração a sua avaliação, mas não foi definida uma regra explícita de distribuição, uma vez que pode ser razoável atribuir preferencialmente recursos de tipo diferente a agregados diferentes.

As prioridades globais encontradas para cada ação, no processo de avaliação, podem servir de base à alocação de recursos. A atribuição dos recursos a cada ação pode ser feita através da seleção das ações, por ordem das prioridades globais encontradas. Num tal procedimento, pode ainda impor-se que as ações de cada tipo tenham uma quantidade mínima e uma quantidade máxima de recursos alocados.

A programação matemática é, também, uma alternativa para encontrar a melhor alocação de recursos às ações de cada agregado. Na formulação de um tal problema, a função objetivo deve conduzir à maximização da pontuação agregada das ações selecionadas para o agregado, e as restrições devem definir que a quantidade máxima a alocar é aquela que foi estabelecida para o agregado.

Depois de se inferirem as prioridades das alternativas, a utilização de programação matemática para a atribuição de recursos é bastante comum na literatura. Ho (2008) refere que, enquanto nos primeiros anos, o AHP era aplicado sozinho para a resolução de problemas, nos últimos anos este método vem integrado com outras ferramentas, que incluem a programação matemática. No que diz respeito à alocação de recursos, Subramanian e Ramanathan (2012) fazem uma revisão sobre as aplicações do AHP na gestão de operações e apresentam vários trabalhos que integram o AHP com outras ferramentas para resolver problemas. Ho (2008) descreve a aplicação do AHP juntamente com programação matemática para resolver problemas ligados à alocação de recursos e à seleção de elementos nas mais variadas áreas, como sendo seleção de projetos, seleção de fornecedores, seleção de localizações, entre outras. A programação matemática ligada ao AHP inclui a programação linear, a programação linear inteira, a programação linear inteira mista e a programação por metas (*goal programming*).

Em relação à resolução de problemas referentes à alocação de recursos, com utilização do AHP, Saaty *et al.* (2003) e Ramanathan e Ganesh (1995a) conjugam o AHP com programação linear; Ehie e Benjamin (1993), Ramanathan e Ganesh (1995b) e Topaloglu (2006) aliam o AHP com *goal programming*, e diversos outros autores aliam o AHP com DEA, com análise fatorial, com algoritmos genéticos, com *simulated annealing*, entre outros (Subramanian e Ramanathan, 2012).

No caso da abordagem de avaliação apresentada, é necessário alocar os recursos disponíveis para um agregado pelas diferentes ações que o irão integrar. Perante o conjunto de ações disponíveis para integrar o agregado, é necessário selecionar as ações que o irão compor. Isto é, depois de priorizar um conjunto de ações que poderão integrar o agregado, é necessário perceber quais as ações que, de facto, irão ser iniciadas e concretizadas. Sejam Ac_1, Ac_2, \dots, Ac_n as n ações que poderão integrar o agregado e que foram priorizadas. Seja Q a quantidade total de recursos existentes para o agregado, q_i a quantidade de recursos que a ação Ac_i necessita, $i = 1, \dots, n$, e z_i uma variável dicotómica, tal que

$$z_i = \begin{cases} 1, & \text{se a ação } i \text{ é selecionada} \\ 0, & \text{senão} \end{cases}, \quad i = 1, \dots, n$$

Seja ainda $G = [G_1 \ G_2 \ \dots \ G_n]^T$ o vetor das prioridades globais das ações, determinado através das metodologias descritas nas subsecções anteriores. Pretende-se maximizar a pontuação agregada das prioridades globais. O problema a resolver para determinar quais as ações selecionadas é, então

$$\begin{aligned} & \max \sum_{i=1}^n G_i z_i \\ & \text{s.a.} \quad \sum_{i=1}^n q_i z_i \leq Q \\ & \quad z_i \in \{0, 1\}, \quad i = 1, \dots, n \end{aligned}$$

Em geral, existem vários tipos de recurso que podem ser atribuídos às ações. Cada ação pode precisar de quantidades específicas de cada tipo de recurso. Neste caso, suponha-se que existem NT tipos de recurso com quantidades disponíveis de Q_j , $j = 1, \dots, NT$. Para cada tipo de recursos j , assume-se que cada ação Ac_i necessita de uma quantidade q_{ij} para ser executada, $i = 1, \dots, n$; $j = 1, \dots, NT$.

Neste caso, o problema a resolver é

$$\begin{aligned} & \max \sum_{i=1}^n G_i z_i \\ & \text{s.a.} \quad \sum_{i=1}^n q_{ij} z_i \leq Q_j, \quad j = 1, \dots, NT \\ & \quad z_i \in \{0, 1\}, \quad i = 1, \dots, n \end{aligned}$$

Num agregado, podem existir outras relações de dependência entre as ações a empreender, que podem ser representadas através de outras restrições. Por exemplo, se a ação 3 apenas puder ser empreendida se a ação 1 também o for, a restrição a incluir será $y_1 \geq y_3$; se, de entre as ações 1 e 3, só uma puder ser selecionada, a restrição será $y_1 + y_3 \leq 1$, etc.

Podem, ainda, definir-se outros tipos de restrições relevantes para cada agregado, tais como estabelecer mínimos para as prioridades em diferentes subcritérios, incluir restrições relativas a tipos de recursos especialmente escassos (e.g, relativas a equipamentos, que existam em quantidades muito limitadas na empresa), incluir limites relativos às ações de cada tipo a selecionar, entre outras que possam surgir. Este tipo de restrições é também linear, e pode incluir-se facilmente no(s) problema(s) acima descrito(s).

3.4 Utilização da solução proposta

A aplicação da abordagem hierárquica de avaliação proposta começa por definir o peso dos critérios (subcritérios) de cada uma das hierarquias definidas. As hierarquias pressupõem diferentes pesos para os critérios, para diferentes tipos de agregados/ações. Esta diferenciação deve-se ao facto de existirem tratamentos diferenciados em cada tipo de agregado/ação. As hierarquias refletem, assim, diferentes tipos de vocações para os diferentes tipos de agregados/ações – existem agregados/ações mais orientados para resultados financeiros e outros mais orientados para um interesse estratégico de longo prazo que pode ser difícil medir em termos financeiros, ou seja, existem agregados/ações mais relacionados com a área de negócio, e existem outros mais relacionados com a área de investigação e desenvolvimento, onde é mais preponderante a aquisição de novas competências. A definição das comparações que levam à determinação dos pesos dos critérios, deve ser feita de forma a refletir as políticas e estratégias da empresa para os diferentes tipos de agregados/ações. É necessário também inferir o peso dos subcritérios dentro de cada critério. Cada subcritério refere-se a um só critério e não existem dois subcritérios que meçam os mesmos aspetos. Isto leva a que as comparações entre subcritérios de um mesmo critério não sejam influenciadas pelos pesos de outros subcritérios ou pelos pesos dos critérios. Relembre-se que, para cada matriz de comparações, pode-se utilizar a metodologia de Harker (1987) para matrizes incompletas de comparações, evitando, deste modo, a introdução de todas as comparações.

Após a definição dos pesos de todos os critérios (subcritérios) em ambas as hierarquias, pode proceder-se à avaliação dos agregados e das ações que os compõem. É possível avaliar um só agregado, ou uma só ação, ou um conjunto de agregados ou ações. Esta avaliação baseia-se na obtenção das prioridades de cada agregado/ação em cada subcritério, definida a partir de um conjunto

de comparações. Com estas prioridades e com os pesos dos critérios e subcritérios, é possível determinar a prioridade global de cada um dos agregados/ações do conjunto em avaliação.

Embora a solução implementada permita o tipo de comparações comum no AHP, isto é, a comparação de cada agregado/ação com os restantes em cada subcritério, foi definida uma outra alternativa de avaliação, cuja utilização se considera mais recomendável no contexto da empresa considerada. Esta avaliação tem por base um conjunto de agregados ou ações de referência, que são agregados ou ações fictícios, definidos pela administração, que representam os tipos de agregados e ações que usualmente são considerados na empresa. As comparações entre agregados de referência, e entre ações de referência, são definidas pela administração, permitindo a esta definir padrões que reflitam as políticas da empresa. Quando se utilizam estes agregados (ações) de referência, é possível proceder à avaliação de cada agregado (ação) individualmente.

As referências podem ser utilizadas, quer na avaliação individual, quer na avaliação de um conjunto de agregados ou ações. Na avaliação individual, para cada subcritério é construída uma matriz de comparações que contém as referências e o agregado (ação) em avaliação. Note-se que as comparações entre as referências são, *à priori*, conhecidas, e em relação à alternativa, basta definir uma comparação entre o agregado (ação) em avaliação e uma das referências. Obtém-se, pois, uma matriz incompleta de comparações, e usando a metodologia de Harker (1987), são inferidas as prioridades de todos os elementos da matriz (inclui referências e elemento em avaliação). Note-se que, em cada matriz de comparações, só interessa reter a prioridade do agregado (ação) em avaliação. Além disso, quando a solução é utilizada desta forma, o problema de alteração da ordem das alternativas aquando da introdução de uma nova alternativa, referido em 3.3.2, não ocorre. Se os avaliadores optarem por esta forma de utilização da solução, isto é, se avaliarem os agregados (ações) individualmente, então o aparecimento de uma nova alternativa nunca poderá causar a alteração da ordem das restantes, uma vez que o processo de avaliação de cada alternativa é independente das restantes (com exceção da normalização final das avaliações).

Os agregados (ações) de referência podem também ser usados para avaliar simultaneamente vários agregados (ações). Neste caso, se o gestor tiver dificuldade em comparar entre si os agregados (ações) em avaliação, não necessita de o fazer – apenas necessita de comparar cada agregado/ação em avaliação com pelo menos uma referência e construir matrizes amplas e incompletas de comparações, que incluem as referências e os agregados em avaliação. Para cada subcritério, o vetor das prioridades inclui, quer as referências, quer os agregados/ações em avaliação, mas devem reter-se e normalizar-se as prioridades dos agregados/ações em avaliação.

Note-se que um conjunto de agregados ou ações pode ser avaliado, comparando os elementos entre si e sem recorrer às referências. No entanto, esta forma de utilização da solução poderá levar ao problema de alteração da ordem das alternativas, se uma nova alternativa for introduzida.

As formas apresentadas para inferir as prioridades dos agregados (ações) permitem reduzir o número necessário de comparações, bem como evitar comparações entre agregados (ações) muito diferentes, através da utilização de referências. Além disso, a utilização de referências permite incluir as preferências e políticas da própria empresa. As referências podem ser utilizadas, então, para avaliar um conjunto de agregados/ações ou um só agregado/uma só ação.

A avaliação de um conjunto de ações/agregados, usando ou não as referências, conduz a uma avaliação relativa dos seus elementos. Os valores assim obtidos serão a base para a alocação dos recursos humanos entre os diferentes agregados e para a alocação de recursos entre as diferentes ações que compõem um agregado. A avaliação obtida pode, também, servir para selecionar agregados/ações, ou para ordená-los de forma a perceber quais devem ver, inicialmente, os seus pedidos, em termos de recursos, satisfeitos. A avaliação individual de um conjunto de agregados, usando as referências, permite ter uma noção sobre o nível de atratividade de cada um, e uma orientação, se for necessário decidir sobre quais os agregados que devem ser iniciados ou prosseguir.

Note-se que, em qualquer procedimento, os agentes de decisão não necessitam de fazer comparações para os valores referentes aos critérios tangíveis dos agregados/ações em avaliação. Estes valores são, como foi referido anteriormente, valores financeiros relativos ao VAL a curto, médio ou longo prazo. Relembre-se que são definidos e comparados, pela administração de topo, vários valores de referência para os valores financeiros do VAL. Os valores previstos para os agregados/ações em avaliação são introduzidos na matriz de comparações dos valores de referência. O tratamento dos critérios tangíveis evita que os responsáveis de ação/agregado comparem valores financeiros. Para os responsáveis, basta inserirem na abordagem de avaliação os valores para esses critérios tangíveis. Consegue-se, assim, determinar as prioridades dos valores financeiros relativos aos agregados/ações em avaliação.

Depois de calculadas todas as prioridades dos agregados/ações em avaliação, em todos os subcritérios, é possível estabelecer uma prioridade global para cada um dos agregados/ações. Esta avaliação global é feita agregando o peso dos critérios e dos subcritérios com as prioridades dos agregados em cada subcritério (ver equação 3.1, na Secção 3.3.2).

A abordagem de avaliação apresentada foi aplicada a um conjunto de agregados e ações de teste, a partir de um protótipo desenvolvido em Microsoft Excel, na empresa sobre a qual se baseou a construção desta abordagem de avaliação. Para tal, foi determinada a estrutura de preferências, com

auxílio de elementos ligados à gestão da empresa, e esta foi utilizada para fazer um conjunto de avaliações. Os resultados, assim, obtidos foram analisados por elementos da empresa, por forma a verificar se estavam de acordo com as expectativas de atratividade das ações e agregados considerados. Esta análise permitiu fazer uma primeira calibração do modelo, após a qual se considerou que os resultados estavam em consonância com as expectativas.

Após esta primeira validação, passou-se à fase de construção da aplicação a ser usada pela empresa, e da sua integração nos sistemas da empresa. Esta integração permitiu que a solução desenvolvida pudesse passar a ser usada, requerendo um esforço muito menor de introdução de dados. Mais uma vez, os testes efetuados a um conjunto de ações e agregados, baseados na estrutura de preferências, por sua vez inferidas a partir de elementos ligados à gestão da empresa, mostraram que a solução contribuiu para tornar claro e objetivo o processo de alocação de recursos, conduzindo a uma utilização mais eficiente dos mesmos.

3.5 Exemplo de aplicação

Apresenta-se agora um exemplo de aplicação para a avaliação de dois agregados, com base num conjunto de referências. Suponhamos que se pretendem avaliar dois agregados do tipo estratégico, Ag1 e Ag2, e que existem 3 agregados de referência, Ref1, Ref2 e Ref3. Os agregados de referência foram definidos e comparados, em todos os subcritérios, pela administração, de acordo com as políticas da empresa. Como foi referido atrás, existem duas possibilidades para avaliar os dois agregados em relação às referências: em cada subcritério, compara-se individualmente cada agregado com as referências, utilizando duas matrizes de comparações, ou constrói-se uma matriz ampla de comparações. Esta matriz ampla de comparações deve conter já as comparações entre as referências (fornecidas aquando da sua definição) e, portanto, o responsável pela avaliação apenas tem que comparar cada agregado com, pelo menos, uma das referências, sem ter que comparar os agregados entre si. Suponha-se que a matriz de comparações das referências, no subcritério competências adquiridas do critério estratégico, é a seguinte:

	Ref1	Ref2	Ref3
Ref1	1	1/3	1/6
Ref2	3	1	1/2
Ref3	6	2	1

O agente de decisão não necessita, como foi referido, de fazer todas as comparações entre as referências e os agregados em avaliação. O responsável apenas tem que inserir, pelo menos, uma

comparação, entre cada agregado em avaliação e uma das referências. Suponha-se que a matriz ampla de comparações, no subcritério referido, contém as comparações entre cada agregado em avaliação e as referências, mas não a comparação direta entre ambos os agregados:

	Ref1	Ref2	Ref3	Ag1	Ag2
Ref1	1	1/3	1/6	1/3	1/3
Ref2	3	1	1/2	1/4	3
Ref3	6	2	1	1	2
Ag1	3	4	1	1	-
Ag2	3	1/3	1/2	-	1

Aplicando a metodologia de Harker (1987), obtém-se o seguinte vetor de prioridades para este subcritério: $[\text{Ref1 Ref2 Ref3 Ag1 Ag2}]^T = [0.06 \ 0.175 \ 0.297 \ 0.351 \ 0.116]^T$. Como apenas se pretendem as prioridades dos agregados em avaliação, fazendo a normalização das prioridades dos agregados, vem que $[\text{Ag1 Ag2}]^T = [0.75 \ 0.25]^T$. Em todos os subcritérios não tangíveis (qualitativos), adota-se esta metodologia. Em relação ao subcritério tangível (financeiro) adota-se a metodologia apresentada na Secção 3.3. Para agregar todas as prioridades e poder calcular a prioridade global para cada agregado, suponha-se que os três critérios, estratégico, operacional e financeiro, têm os seguintes pesos, respetivamente, $[0.5 \ 0.3 \ 0.2]^T$. Suponha-se ainda os seguintes pesos para os subcritérios de cada critério:

Estratégico: $[0.2 \ 0.15 \ 0.2 \ 0.15 \ 0.1 \ 0.2]^T$, para os subcritérios respetivos, apresentados na Tabela 3.1.

Operacional: $[0.2 \ 0.15 \ 0.25 \ 0.2 \ 0.2]^T$, para os subcritérios respetivos, apresentados na Tabela 3.1.

Financeiro: $[0.4 \ 0.3 \ 0.3]^T$, para os subcritérios respetivos, apresentados na Tabela 3.1.

Suponham-se, então, as seguintes prioridades para cada um dos subcritérios, apresentadas na Tabela 3.3:

Agregados	Ag1	Ag2
Subcritérios		
Contribuição para a imagem da empresa	0.6	0.4
Liderança do mercado	0.5	0.5
Competências adquiridas	0.75	0.25
Parcerias estratégicas	0.4	0.6
Importância da credibilidade da empresa junto do cliente	0.7	0.3
Importância da tecnologia desenvolvida para o grupo PT	0.45	0.55
Incerteza técnica	0.4	0.6
Criticidade/escassez de recursos	0.5	0.5
Flexibilidade da solução	0.3	0.7
Dependência de terceiros	0.5	0.5
Satisfação imediata do cliente	0.6	0.4
Valor financeiro	0.3	0.7
Perda esperada por abandono	0.5	0.5
Possibilidade de adiamento	0.7	0.3

Tabela 3.4 – Prioridades dos agregados nos diferentes subcritérios

Agregando as prioridades com os pesos dos subcritérios e dos critérios, temos que as prioridades globais (equação 3.1) dos agregados são, respetivamente, $G_{Ag1} = 0.513$ e $G_{Ag2} = 0.487$.

É necessário distribuir os recursos existentes pelos dois agregados. Suponha-se que existem três tipos de recurso, T_1 , T_2 e T_3 , representando três perfis de mão-de-obra, com competências diferenciadas. A disponibilidade dos três tipos de recursos é, respetivamente, $q_1 = 100$; $q_2 = 200$; $q_3 = 250$ (valores em homens.mês). Como foi indicado na Secção 3.4, não foi definida uma regra explícita de distribuição de recursos pelos agregados. Assim, vamos supor que, tendo em conta avaliação global do agregado Ag1, as características deste e a quantidade global de recursos existente, foi decidido atribuir a este 58 homens.mês do tipo T_1 , 117 homens.mês de T_2 e 146 homens.mês de T_3 , e que este agregado tem 5 ações que podem ser empreendidas, Ac_1 , Ac_2 , Ac_3 , Ac_4 , Ac_5 . Na Tabela 3.4, apresentam-se as necessidades de cada ação em relação a cada tipo de recurso, bem como as

prioridades que se obtiveram, depois de aplicado o processo de avaliação (em tudo semelhante ao que foi explicado para os agregados).

Ação	Quantidade necessária de T_1	Quantidade necessária de T_2	Quantidade necessária de T_3	Prioridade global da ação
Ac_1	10	20	25	0.125
Ac_2	15	30	36	0.201
Ac_3	10	12	20	0.089
Ac_4	18	36	45	0.325
Ac_5	11	20	30	0.260

Tabela 3.5 – Quantidades necessárias de recursos e prioridades das ações

Além das restrições relativas às quantidades de recursos, suponham-se outro tipo de restrições: entre as ações Ac_1 , Ac_2 e Ac_3 , apenas duas podem ser seleccionadas e a ação Ac_2 é prioritária em relação à ação Ac_5 . Com estes dados, e assumindo que não se pretende definir limites para as ações de cada tipo a implementar nem mais nenhuma restrição, o programa linear a resolver para seleccionar as ações a empreender do agregado Ag1 seria o seguinte:

$$\begin{aligned}
 & \max 0.125z_1 + 0.201z_2 + 0.089z_3 + 0.325z_4 + 0.260z_5 \\
 & \text{s.a. } 10z_1 + 15z_2 + 10z_3 + 18z_4 + 11z_5 \leq 58 \\
 & \quad 20z_1 + 30z_2 + 12z_3 + 36z_4 + 20z_5 \leq 117 \\
 & \quad 25z_1 + 36z_2 + 20z_3 + 45z_4 + 30z_5 \leq 146 \\
 & \quad z_1 + z_2 + z_3 \leq 2 \\
 & \quad z_2 \geq z_5 \\
 & \quad z_i \in \{0,1\} \quad i = 1, \dots, 5
 \end{aligned}$$

A solução deste problema é $[z_1 \ z_2 \ z_3 \ z_4 \ z_5] = [1 \ 1 \ 0 \ 1 \ 1]$. Para o responsável pelo agregado Ag1, as ações a executar seriam Ac_1 , Ac_2 , Ac_4 , Ac_5 .

Note-se que, no final do procedimento, é normal que as ações selecionadas não utilizem a totalidade dos recursos disponíveis, pois haverá quantidades residuais dos recursos que sobram em cada agregado – no caso do exemplo, é fácil ver que ficam por utilizar 4 homens.mês do tipo T_1 , 11 homens.mês de T_2 e 10 homens.mês de T_3 . Estas quantidades seriam redistribuídas a um número pequeno de agregados, de acordo com as pontuações e características destes, e o problema de distribuição de recursos a ações seria novamente resolvido para estes agregados. O procedimento de redistribuição de recursos sobrantes seria repetido até que as sobras fossem suficientemente pequenas para não permitir a seleção de mais ações.

3.6 Conclusões do capítulo

A abordagem hierárquica de avaliação apresentada permite avaliar os projetos de Inovação, Investigação e Desenvolvimento de uma empresa de telecomunicações. Esta avaliação é feita em dois níveis distintos de decisão: a ação e o agregado de ações. Enquanto a ação é um conceito já utilizado na empresa, o agregado é um novo conceito introduzido, e que corresponde a um conjunto de ações inter-relacionadas, vocacionadas para um mesmo serviço ou produto. Em cada um dos níveis de decisão, são utilizados diferentes critérios, estruturados de forma hierárquica. São considerados diferentes tipos de ações e de agregados, e o modelo prevê uma diferenciação dos pesos dos critérios, consoante o tipo de ação ou agregado em avaliação. A abordagem de avaliação apresentada permite considerar critérios, quer qualitativos, quer quantitativos (como sendo o caso de alguns critérios financeiros). Para além deste facto, a abordagem permite, também, lidar com um grande número de alternativas. Esta abordagem não necessita que o decisor ou responsável de projeto ou ação proceda a todas as comparações entre as alternativas apresentadas, mas antes, permite que sejam feitas apenas um número mínimo de comparações, evitando demasiado esforço e informação requerida ao decisor.

A abordagem apresentada permite, então, apoiar a obtenção de decisões solidamente fundamentadas. A existência de uma estrutura de preferências explícita permite compreender (e justificar) melhor as decisões tomadas, além de permitir, também, detetar com mais facilidade incoerências no processo de decisão. Esta abordagem permite, pois, uma maior responsabilização dos decisores, ajudando-os a perceber melhor onde poderão ter ocorrido erros de avaliação, quando se constatare que as decisões tomadas não foram as mais adequadas. O facto desta abordagem de avaliação necessitar da intervenção de vários agentes de decisão, correspondentes a vários níveis de gestão da empresa, leva a que esses agentes de decisão (que vão desde a gestão de topo aos responsáveis pelos agregados/projetos) pensem, discutam e explicitem os seus pressupostos. Além disso, perante os resultados e processo de avaliação, os decisores podem alterar a opinião ou a estrutura de prioridades.

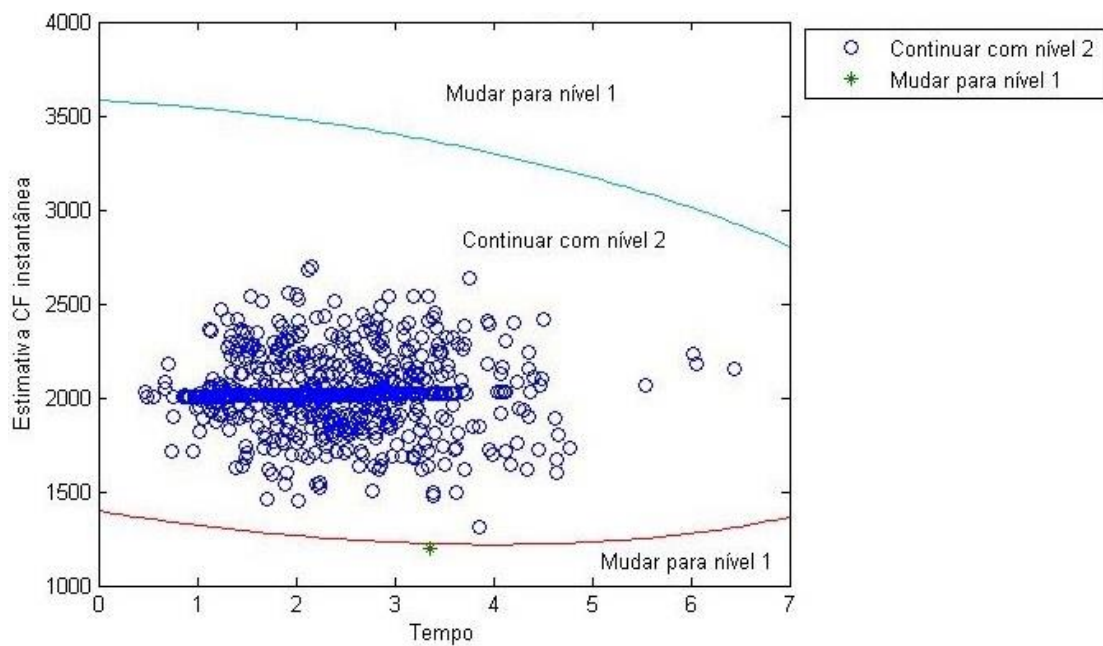
As estruturas hierárquicas apresentadas levam a que agentes de decisão de um determinado nível da hierarquia não possam intervir diretamente nas decisões de outros níveis. Esta diferenciação conduz, assim, a resultados que consideram variados pontos de vista e objetivos por parte da empresa.

Através do conceito de agregado, a abordagem permite, também, a harmonização de decisões sobre ações inter-relacionadas que estão situadas em *clusters* diferentes.

A abordagem de avaliação proposta permite, ainda, apoiar decisões intercalares (entre dois momentos de planeamento e decisão), quando surgem situações imprevistas, como o aparecimento de novas oportunidades não previstas no momento do planeamento. Numa situação como esta, tais oportunidades podem ser integradas facilmente no modelo, e no caso de se decidir aproveitá-las, a realocação dos recursos pode, também, ser baseada no modelo.

Capítulo 4

ABORDAGEM ESTOCÁSTICA PARA AVALIAÇÃO DE TAREFAS DE I&D



4. ABORDAGEM ESTOCÁSTICA PARA AVALIAÇÃO DE TAREFAS DE I&D

4.1 Introdução e enquadramento

Para a avaliação de projetos e das ações que integram esses projetos, foi introduzida e apresentada, no capítulo anterior, uma abordagem multicritério, que tem em conta diversos fatores ou critérios. Esta abordagem é útil em projetos cuja avaliação, estritamente financeira, seja difícil. Note-se que podem existir diversos fatores que influenciem o sucesso dos projetos e, por conseguinte, o sucesso da empresa. No entanto, para projetos mais ligados à área de negócio, cujo principal objetivo seja a criação de receita, torna-se necessário encontrar ferramentas que possam avaliar este tipo de projetos, tendo em conta apenas aspetos financeiros. A abordagem estocástica apresentada, neste capítulo, tem em conta apenas um critério: o financeiro.

No capítulo anterior, foram definidas ações de projetos que correspondem a parcelas de projetos e têm características específicas. Cada ação é definida, por norma, por um período de cerca de um ano. Este planeamento é usual no tipo de empresa que consideramos. Cada ação é subdividida em tarefas, isto é, uma ação é completada quando todas as tarefas que compõem a ação o forem. A abordagem estocástica de avaliação, apresentada neste capítulo, pretende avaliar essas tarefas. Para cada tarefa, podem existir diferentes níveis de recurso disponíveis para executá-la, que se distinguem pelo número de elementos ou pela sua especialização. O resultado da avaliação desta abordagem permite encontrar um valor financeiro para a tarefa e uma estratégia para executá-la. Ou seja, a ferramenta definida por esta abordagem deve fornecer um conjunto de regras que defina o nível de recursos a ser alocado a cada tarefa, em cada momento, permitindo, desta forma, definir a estratégia para executar as tarefas de um projeto de I&D. Essa estratégia é construída com o objetivo de maximizar o valor atual líquido da tarefa (este valor é financeiro e será definido mais à frente).

Este capítulo explica, detalhadamente, o processo de avaliação de uma tarefa. Como esta abordagem é exclusivamente financeira, a sua utilização requer a inferência de certos parâmetros. Estes parâmetros serão melhor conhecidos em tarefas que pertençam a ações com mais preocupações na criação de receita, como sendo as ações do tipo 3 (definidas no capítulo anterior). No entanto, a abordagem de avaliação, aqui apresentada, pode ser aplicada a uma tarefa de qualquer ação, desde que se conheçam os parâmetros necessários. Apesar de o capítulo se dedicar à avaliação de uma tarefa, pode deduzir-se que a avaliação das tarefas que compõem uma ação levará a uma avaliação exclusivamente financeira da própria ação. A ligação entre as diferentes tarefas será aprofundada em trabalho futuro, sendo necessário perceber como as tarefas se ligam e de que forma dependem umas das outras. Pode acontecer que certas tarefas tenham precedências, isto é, certas tarefas só possam começar quando outras acabarem ou se outras tiverem obtido um determinado resultado.

Note-se que a abordagem hierárquica apresentada no capítulo anterior e a abordagem estocástica poder-se-ão relacionar: depois de avaliadas as ações e de os recursos serem distribuídos, pode ser necessário decidir sobre o nível de recursos a utilizar, de entre os níveis de recursos disponíveis, para iniciar a ação, e por conseguinte, para iniciar alguma das tarefas constituintes. No entanto, irá ser necessário fazer a conexão entre ambas as abordagens, já que a abordagem hierárquica distribui os recursos de forma determinista e rígida, enquanto a abordagem estocástica o faz de forma flexível, procurando definir, de entre os níveis de recursos disponíveis, qual o que deve ser alocado.

Os métodos tradicionais de avaliação de projetos, usando critérios estritamente financeiros, não são adequados ao tipo de avaliação que se apresenta neste capítulo, pois assumem um plano de ação fixo e pré-determinado, o que não permite ter em conta a incerteza e a flexibilidade operacional (Yeo e Qiu, 2003). Como já foi referido, o reconhecimento que a teoria das opções financeiras podia ser utilizada para avaliar projetos de investimento foi feita por Myers (1984), que usou a expressão *opção real* para exprimir a flexibilidade de gestão num ambiente de incerteza. A teoria das opções reais permite determinar a melhor sequência de decisões a tomar num ambiente de incerteza, e fornece ferramentas que permitem avaliar um projeto quando existe flexibilidade operacional. As decisões são tomadas de acordo com as oportunidades que aparecem ao longo da vida do projeto, o que leva a que o caminho ótimo de decisões seja determinado e escolhido instante a instante, mudando, se necessário, de linha de ação, à medida que surgem novos acontecimentos e/ou oportunidades (Cortazar *et al.*, 2008).

O desenvolvimento desta abordagem estocástica foi motivado pelo facto de, na literatura, não existirem modelos que se adaptem inteiramente ao tipo de projetos e empresa que se está a considerar. Os modelos encontrados na literatura exigiam informação que não era possível obter a partir de dados existentes, ou assumiam pressupostos que não eram razoáveis para a aplicação pretendida.

Uma primeira apresentação do modelo que serve de base à ferramenta aqui apresentada encontra-se em Godinho *et al.* (2007), que propuseram um modelo de opções reais para avaliar projetos de I&D na área de telecomunicações. Considera-se que uma ação é composta por diferentes tarefas. Assim, para avaliar uma ação, devem avaliar-se as tarefas que a compõem. Assume-se que diferentes níveis de recurso podem ser alocados a uma tarefa, e que esses níveis de recurso têm diferentes custos e diferentes velocidades médias de execução. O avanço da tarefa é estocástico e os responsáveis pelo projeto podem realocar recursos à medida que a tarefa vai progredindo. A progressão da avaliação de uma tarefa permite definir, em cada momento, qual o nível de recursos que deve ser alocado. Os recursos a serem alocados são especialmente humanos (e altamente especializados). A diferença entre os níveis de recurso pode ser qualitativa ou quantitativa, isto é, os níveis de recurso podem distinguir-se pelo número de elementos que os compõem ou pela especialização/qualidade dos seus elementos. Considera-se que uma estratégia para completar a tarefa é um conjunto de regras que

define o nível de recurso a utilizar, em cada momento. São analisadas diferentes estratégias, pretendendo-se encontrar a estratégia ótima de execução de uma tarefa de I&D.

4.2 Considerações gerais sobre a abordagem estocástica de avaliação de tarefas de I&D

Como foi abordado no Capítulo 2, as opções reais são muito utilizadas por diversos autores e em diferentes áreas, na avaliação de projetos de I&D. Por exemplo, Brach e Paxson (2001) e Loch e Bode-Greuel (2001) utilizam opções reais para avaliar projetos de I&D na área farmacêutica. Lint e Pennings (2001) utilizam um modelo baseado em opções reais para avaliar projetos na Philips Electronics; Schwartz e Zozaya-Gorostiza (2003) usam opções reais para avaliar projetos em tecnologia da informação e Lee e Paxson (2001) em projetos na área de comércio eletrônico. No entanto, estes ou outros modelos podem não ser suficientemente flexíveis para se adaptarem a todas as empresas.

Para avaliar e analisar um projeto de I&D, é importante avaliar, de forma sequencial, as opções reais que vão aparecendo ao longo da vida do projeto, nomeadamente, é preciso decidir sobre a alocação de recursos, quando existem diferentes níveis de recurso disponíveis. Na abordagem apresentada, neste capítulo, assume-se que cada tarefa é homogênea e que necessita de um determinado número de unidades de trabalho para ser completada. Estas unidades de trabalho correspondem a partes da tarefa, que são idênticas entre si e independentes. As unidades de trabalho podem ser executadas por diferentes níveis de recurso que têm diferentes velocidades médias de execução e diferentes custos por unidade de tempo. Em termos de apoio à decisão, esta abordagem permite encontrar o nível de recursos que deve iniciar uma tarefa. Os resultados da abordagem vão mais longe, já que definem regras que permitem obter o nível de recursos a ser utilizado em cada unidade de trabalho. Isto é, essas regras permitem a definição da estratégia de execução da tarefa. A partir do momento em que a tarefa é iniciada, a abordagem estocástica apresentada pode ser reaplicada: as informações decorrentes da execução da tarefa são utilizadas nessa reaplicação e podem permitir uma melhor revisão do nível de recursos a usar em cada momento.

Para decidir sobre o nível de recursos a utilizar, em cada momento e em cada unidade de trabalho, é necessário incorporar o risco associado. Este risco pode estar associado a custos, preços, tecnologia e mercado, entre outros. Como também foi revisto no Capítulo 2, existem variados processos para modelar estas variáveis, como processos de difusão (Pindyck, 1993; Schwartz e Zozaya-Gorostiza, 2003; Whalley, 2011), ou mais especificamente movimentos geométricos Brownianos, (Cortazar *et al.*, 2001; Cassimon *et al.*, 2011), modelos de reversão à média (Copeland e Antikarov, 2001), ou combinações entre processos de difusão e processos de Poisson (Pennings e Sereno, 2011). Os processos de Poisson são bastante utilizados para modelar incertezas tecnológicas (Brach e Paxson, 2001; Pennings e Sereno, 2011) ou eventos catastróficos que tornam impossível a continuação do

projeto (Schwartz e Zozaya-Gorostiza, 2003; Schwartz, 2004; Cassimon *et al.*, 2011; Pennings e Sereno, 2011). No caso do modelo apresentado, existe incerteza no tempo de finalização da tarefa e, indiretamente, nos custos, pois estes dependem, diretamente, do tempo de finalização da tarefa. O tempo para completar uma tarefa é assumido como não determinista; antes, é descrito pela soma de um termo determinista com um termo estocástico. O termo determinista representa o tempo mínimo que a tarefa demora a ser executada, e o termo estocástico representa a incerteza na duração da tarefa. Este último é construído a partir de uma distribuição de Poisson, já que o número médio de unidades de trabalho finalizadas, por unidade de tempo, é constante. Esta distribuição está ligada à modelação da duração de diferentes acontecimentos, através da sua ligação direta à distribuição exponencial. Os custos são considerados deterministas, por unidade de tempo, e dependem do nível de recursos utilizado. São também assumidos custos por mudar de nível de recursos durante a execução da tarefa, isto é, são assumidos custos por realocar pessoas.

Para além dos fatores mencionados no parágrafo anterior, também nas receitas, podem existir incertezas, o que leva a que a sua modelação seja estocástica (Schwartz e Moon, 2000). Para a abordagem de avaliação aqui apresentada, não se modelam as receitas diretamente, mas sim os *cash flows* resultantes da finalização da tarefa. Para os projetos considerados no modelo, os *cash flows* seguem um processo estocástico e dependem do tempo de vida das tarefas que compõem o projeto. Como já foi referido, uma ação de um projeto é composta por um conjunto de tarefas. O valor atual dos *cash flows* resultantes da finalização de uma tarefa é denominado por estimativa CF da tarefa. Estes *cash flows* ou estimativa CF da tarefa representam uma parte do total dos *cash flows* de todo o projeto. É utilizado o conceito de estimativa CF instantânea da tarefa, que representa o valor atual da estimativa CF da tarefa, assumindo que a tarefa estaria finalizada nesse instante. Assume-se que este valor atual cresce a uma taxa pré-definida (por exemplo, consequência da inflação), e que, em certos momentos, podem ocorrer “saltos” no seu crescimento; estes saltos podem ser positivos (por exemplo, a descoberta ou utilização de uma nova tecnologia) ou negativos (por exemplo, a entrada de um novo competidor no mercado). Também se assume uma penalização na estimativa CF da tarefa, de acordo com o tempo que ela demora a ser executada, isto é, a estimativa CF da tarefa é mais penalizada quando esta demora mais tempo a ser completada. A existência desta penalização é razoável, pois projetos de I&D podem tornar-se mais lucrativos se um produto ou serviço for lançado mais cedo.

Após a definição e modelação das variáveis necessárias, procede-se à avaliação das opções reais existentes. No caso da abordagem apresentada, essas opções correspondem aos níveis de recursos disponíveis e pretende-se selecionar, em cada momento, o mais indicado. A existência de opções reais leva a que se tenha em conta a flexibilidade operacional. Como também já foi referido, a incorporação da flexibilidade operacional pode ser feita, a partir da utilização de *lattices*. No entanto, as *lattices* podem tornar-se impraticáveis quando o número de fatores de risco ou estocásticos aumenta

(Rodrigues e Armada, 2006). Um grande número de períodos também dificulta a construção das *lattices*. No caso da abordagem apresentada, a utilização de *lattices* seria extremamente complicada e morosa.

A simulação é uma boa alternativa para avaliar opções reais, pois permite considerar várias variáveis de estado modeladas por processos estocásticos e, nos dias de hoje, as técnicas de simulação são simples, transparentes e flexíveis (Longstaff e Schwartz, 2001). Além disso, o esforço computacional cresce linearmente com o número de fatores estocásticos e um grande número de simulações permite que os erros tendam para zero, devido ao teorema do limite central (Rodrigues e Armada, 2006). O processo de simulação permite estimar o valor de um projeto, quando este valor depende de outras variáveis (de estado). Além disso, a tecnologia atual, a nível de computadores e programas computacionais, permite aplicar a simulação de forma rápida e eficaz.

O procedimento apresentado, neste capítulo, para avaliar o valor das opções reais, baseia-se no método LSM: o processo de simulação LSM, proposto por Longstaff e Schwartz (2001), constrói funções de regressão que explicam o valor do *payoff* por manter viva uma opção, através dos valores de variáveis de estado. São simulados diferentes caminhos que contenham as variáveis de estado. Para os caminhos simulados, são tomadas as decisões ótimas para o último período. A partir destas decisões, para o penúltimo período, são construídas funções condicionais que estabelecem o valor esperado para a opção, tendo em conta as decisões ótimas tomadas para o último período. Com esta função, são tomadas as decisões ótimas para o penúltimo período. O processo continua, de forma regressiva, até ao primeiro período.

As decisões necessárias, no processo de avaliação apresentado, são definidas através de um procedimento, que utiliza a simulação LSM. A utilização de simulação permite integrar, de forma simples, várias variáveis de decisão. A escolha do método de simulação LSM deve-se ao facto das decisões serem tomadas, de acordo com as expectativas futuras. Apesar do procedimento, aqui apresentado, se basear no método LSM, algumas adaptações tiveram que ser feitas: no procedimento aqui descrito, o tempo para completar a tarefa não é assumido como determinista, mas sim como incerto. No entanto, o número de unidades de trabalho necessário para completar a tarefa é determinista.

4.3 O modelo para a avaliação de tarefas de I&D

Considera-se que uma tarefa está completa se um determinado número de unidades de trabalho for executado. Estas unidades de trabalho podem ser completadas por diferentes níveis de recursos, que conduzem a diferentes tempos médios de execução e diferentes custos, por unidade de tempo. O procedimento que irá ser apresentado pretende, através da maximização do valor esperado para a tarefa, determinar a estratégia de execução de cada tarefa, isto é, pretende determinar qual o nível de recursos a utilizar, em cada unidade de trabalho e de acordo com a forma como a execução da tarefa estiver a decorrer. Antes de apresentar este procedimento, é necessário introduzir a modelação das diferentes variáveis de estado, necessárias à execução desse procedimento. Assim, as próximas subsecções apresentam e descrevem, em detalhe, os modelos utilizados para descrever o tempo para completar uma tarefa, a estimativa CF da tarefa, os custos e o valor atual líquido da tarefa.

4.3.1 Tempo para completar uma tarefa

O tempo para completar a tarefa não é determinista, pois é impossível conhecer, exatamente, o seu valor, devido a atrasos imprevistos ou dificuldades técnicas. Assumindo a utilização de um só nível de recursos específico k , ao longo de toda a tarefa, define-se $T^{(k)}$ como o tempo necessário para finalizar a tarefa. $T^{(k)}$ é uma variável aleatória, e assume-se que $T^{(k)}$ é definido como a soma entre um termo determinista, que é o tempo mínimo para completar a tarefa, $M^{(k)}$, com um termo estocástico.

Seja D o número necessário de unidades de trabalho para completar a tarefa. As unidades de trabalho correspondem a pequenas parcelas constituintes da tarefa, homogéneas e independentes, e o conjunto de todas estas parcelas compõem a tarefa. O tempo necessário para completar cada unidade de trabalho é definido a partir da soma de um termo determinista, que representa o tempo mínimo de execução da unidade de trabalho, com um termo estocástico, definido por uma distribuição exponencial. Esta distribuição é adequada, pois o número médio de unidades de trabalho completadas, por unidade de tempo, é constante e não há, à partida, nenhuma expectativa sobre a natureza da distribuição que modela o tempo de execução da tarefa (Folta e Miller, 2002). Por outro lado, assume-se que o tempo de execução de uma unidade de trabalho é independente do tempo de execução das outras unidades de trabalho.

O tempo necessário para completar a tarefa, usando apenas o nível de recursos k , é, então, definido por $T^{(k)}$, e é imediato que

$$T^{(k)} = \sum_{i=1}^D \hat{t}_i^{(k)} \quad (4.1)$$

onde $\hat{t}_i^{(k)}$ é o tempo que cada unidade de trabalho demora a ser finalizada, considerando o nível de recursos k .

Cada termo $\hat{t}_i^{(k)}$ pode ser escrito como

$$\hat{t}_i^{(k)} = \frac{M^{(k)}}{D} + t_i^{(k)} \quad (4.2)$$

onde $t_i^{(k)}$ tem o comportamento de uma distribuição exponencial de parâmetro $\mu^{(k)}$, e portanto, com média $1/\mu^{(k)}$.

Substituindo $\hat{t}_i^{(k)}$ em (4.1),

$$T^{(k)} = M^{(k)} + \sum_{i=1}^D \hat{t}_i^{(k)} \quad (4.3)$$

O tempo de finalização de uma tarefa, usando apenas um nível específico de recursos k , é composto, então, pela soma entre um termo determinista, que representa o tempo mínimo de execução da tarefa, e um termo estocástico, definido pela soma de D variáveis exponenciais independentes.

4.3.2 Os custos

Como foi referido nas considerações gerais, os custos são deterministas, por unidade de tempo, e dependem, quer do nível de recursos utilizado, quer do tempo de execução. Estes custos representam os custos associados à utilização de cada nível de recursos e serão contabilizados à parte da estimativa CF da tarefa, cuja definição e modelação se apresenta na próxima subsecção. Os custos, aqui definidos, têm duas naturezas: o custo da própria tarefa e os custos associados à mudança de nível de recursos.

Em relação ao custo da própria tarefa, para cada nível de recursos, assume-se que esse custo cresce a partir de uma taxa fixa, possivelmente a taxa de inflação. Assim, e considerando um nível de recursos específico k , seja $C_x^{(k)}$ o custo instantâneo, no instante x . O modelo para este custo pode, então, ser definido por

$$dC_x^{(k)} = \rho C_x^{(k)} dx \quad (4.4)$$

onde ρ é a taxa constante de crescimento dos custos. Logo, o valor de $C_x^{(k)}$ é a solução da equação diferencial

$$\frac{dC_x^{(k)}}{dx} = \rho C_x^{(k)} \quad (4.5)$$

isto é,

$$C_x^{(k)} = C_0^{(k)} e^{\rho x} \quad (4.6)$$

onde $C_0^{(k)}$ é uma constante a determinar e que será um parâmetro de entrada do modelo. Este parâmetro também representa o custo instantâneo no momento inicial da tarefa, isto é, no momento 0.

O custo de uma unidade de trabalho j , que utiliza o nível de recursos k , $\bar{C}_j^{(k)}$, que começa no instante x_j , e que acaba no instante x_{j+1} é dado por

$$\bar{C}_j^{(k)} = \int_{x_j}^{x_{j+1}} C_x^{(k)} dx = \int_{x_j}^{x_{j+1}} C_0^{(k)} e^{\rho x} dx = \left[\frac{1}{\rho} C_0^{(k)} e^{\rho x} \right]_{x_j}^{x_{j+1}} = \frac{C_0^{(k)}}{\rho} (e^{\rho x_{j+1}} - e^{\rho x_j}) \quad (4.7)$$

O valor atual do custo da unidade j , que utiliza o nível de recursos k , em relação a um instante x_0 com taxa de atualização r , é representado por $C_{j,x_0}^{(k)}$ e é calculado como

$$C_{j,x_0}^{(k)} = \int_{x_j}^{x_{j+1}} C_x^{(k)} e^{-r(x-x_0)} dx = \int_{x_j}^{x_{j+1}} C_0^{(k)} e^{\rho x} e^{-r(x-x_0)} dx = \frac{C_0^{(k)} e^{rx_0}}{\rho - r} \left[e^{(\rho-r)x} \right]_{x_j}^{x_{j+1}} = \frac{C_0^{(k)} e^{rx_0}}{\rho - r} (e^{(\rho-r)x_{j+1}} - e^{(\rho-r)x_j}) \quad (4.8)$$

A expressão de cálculo para $C_{j,x_0}^{(k)}$, dada na equação (4.8), é válida quando $\rho \neq r$. No caso de $\rho = r$,

$$C_{j,x_0}^{(k)} = \int_{x_j}^{x_{j+1}} C_x^{(k)} e^{-r(x-x_0)} dx = \int_{x_j}^{x_{j+1}} C_0^{(k)} e^{\rho x} e^{-r(x-x_0)} dx = \int_{x_j}^{x_{j+1}} C_0^{(k)} e^{rx_0} dx = C_0^{(k)} e^{rx_0} (x_{j+1} - x_j) \quad (4.9)$$

Durante a execução da tarefa, se existe uma alteração de nível de recursos, pode haver um custo associado. Estes custos são assumidos como deterministas, e dependem do nível de recursos utilizado. O custo para mudar de um nível de recursos k_j , na unidade de trabalho j , para outro nível de recursos k_{j+1} que vai ser utilizado na unidade de trabalho seguinte, $j+1$, é dado por $\gamma(k_j, k_{j+1})$. Também se assume que estes custos crescem com a mesma taxa ρ apresentada no início desta subsecção. Se a mudança de nível ocorre no instante x_{j+1} , isto é, no instante em que a unidade de trabalho $j+1$ se

inicializa, então o valor desse custo é $\gamma(k_j, k_{j+1})e^{\rho x_{j+1}}$ e o valor atual desse custo em relação a um instante x_0 é $\gamma(k_j, k_{j+1})e^{\rho x_{j+1}} e^{-r(x_{j+1}-x_0)}$.

Para a avaliação da tarefa, é necessário calcular o valor atual dos custos remanescentes, isto é, é necessário determinar os custos totais desde uma certa unidade de trabalho j até à última unidade, D . Assumimos que o valor atual destes custos, para todas as unidades $j=1, \dots, D$, é calculado relativamente ao instante que inicia a unidade j , x_j . Estes custos remanescentes são denominados por $TotC(j, x_j)$ e a sua expressão é dada por

$$TotC(j, x_j) = \sum_{a=j}^{D-1} [C_{a,x_j}^{(k_a)} + \gamma(k_a, k_{a+1})e^{\rho x_{a+1}} e^{-r(x_{a+1}-x_j)}] + C_{D,x_j}^{(k_D)} \quad (4.10)$$

onde

x_j é o instante em que se inicia a unidade de trabalho j ;

$C_{a,x_j}^{(k_a)}$ é o valor atual do custo da unidade de trabalho a , relativamente ao instante x_j . A unidade de trabalho a começa no instante x_a e utiliza o nível de recursos k_a ;

$C_{D,x_j}^{(k_D)}$ é o valor atual do custo da unidade de trabalho D , em relação ao instante x_j . A unidade de trabalho D utiliza o nível de recursos k_D ;

$\gamma(k_a, k_{a+1})$ define o valor do custo de mudança do nível de recursos k_a utilizado na unidade de trabalho a para o nível de recursos k_{a+1} utilizado na unidade de trabalho $a+1$. Note-se que se o nível de recursos utilizado na unidade de trabalho a é o mesmo da unidade de trabalho $a+1$, este custo é zero, isto é, $\gamma(k_a, k_{a+1}) = 0$;

r é a taxa de atualização.

4.3.3 A estimativa CF da tarefa

Como foi referido nas considerações gerais, define-se a estimativa CF da tarefa como o valor atual do *cash flows* resultantes da finalização da tarefa. Estes *cash flows* não dependem do nível de recursos utilizado, mas antes do tempo que a tarefa demora a ser executada. Para a estimativa CF da tarefa, utilizamos o conceito de estimativa CF instantânea, que é o valor atual da estimativa CF da tarefa, assumindo que a tarefa terminou, nesse instante.

Assume-se que a estimativa CF instantânea da tarefa varia com uma taxa pré-definida e com a ocorrência de alguns eventos estocásticos. Essa taxa pré-definida pode ser positiva ou negativa, de acordo com a natureza do projeto. A possibilidade de ocorrerem alguns eventos (inesperados) justifica-se, pois em projetos de I&D, novas informações podem chegar ou eventos inesperados podem ocorrer, que podem modificar o decurso do projeto e, conseqüentemente, as expectativas relativamente à estimativa CF instantânea da tarefa. Assume-se, ainda, a possibilidade da existência de uma penalização na estimativa CF instantânea da tarefa, devido à duração desta, isto é, a estimativa CF instantânea da tarefa é mais penalizada quanto maior for a duração da tarefa. Isto porque se assume que quanto mais cedo um produto ou serviço for lançado no mercado, maior será o valor obtido na estimativa CF instantânea. Note-se que, com a duração excessiva de uma tarefa, um competidor pode lançar antes, no mercado, um produto ou serviço similar. Esta possibilidade de antecipação, por parte de competidores, leva a uma diminuição na estimativa CF instantânea esperada do projeto e, portanto, leva a uma diminuição do valor esperado para a tarefa em avaliação.

A variação da estimativa CF instantânea depende de uma taxa (que pode ser positiva ou negativa) e de eventos aleatórios. Estes eventos são definidos a partir de processos de Poisson. Assim, o modelo para a estimativa CF instantânea, R , é definido por:

$$dR = \alpha R dx + R dq \quad (4.11)$$

O parâmetro α incluído no modelo representa a taxa positiva ou negativa, em cada intervalo infinitesimal de tempo dx .

O termo dq representa o processo de Poisson, isto é

$$dq = \begin{cases} u, & \text{com probabilidade } \pi dx \\ 0, & \text{com probabilidade } 1 - \pi dx \end{cases} \quad (4.12)$$

com u definido a partir de uma distribuição uniforme, $u \sim U(u_{\min}, u_{\max})$, $u_{\min} \leq u_{\max}$ e π a probabilidade de um salto ocorrer, numa unidade de tempo.

Note-se que, se a estimativa CF instantânea dependesse apenas da taxa α , R seria contínua e monótona crescente (assumindo a taxa α positiva). Mas, para além da taxa α , existe a possibilidade de ocorrerem saltos nos *cash flows*, devido à natureza dos projetos e/ou ao comportamento de mercado. Estes saltos criam descontinuidades no tempo. Graficamente (Figura 4.1), a estimativa CF instantânea pode comportar-se da seguinte forma (considerando a taxa α positiva):

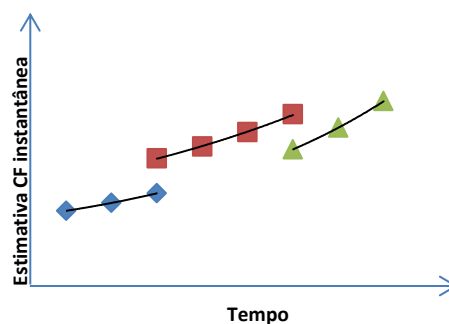


Figura 4.1- Estimativa CF instantânea *versus* tempo

De forma a trabalhar melhor o modelo, assumimos a versão discreta para a estimativa CF instantânea. A solução da primeira parte da equação (4.11), em cada instante x , é $R_x = R_0 e^{\alpha x}$. O tempo é discretizado como $\Delta x = 1$. Em relação à solução da primeira parte da equação (4.11), a variação da estimativa CF instantânea, entre dois instantes consecutivos, x e $x+1$, é $R_{x+1} - R_x = R_0 e^{\alpha x} (e^\alpha - 1) = R_x (e^\alpha - 1)$. Para valores de α pequenos, $\alpha \approx e^\alpha - 1$. Logo, para a primeira parte da equação (4.11), tem-se que $R_{x+1} - R_x \approx \alpha R_x$. Em relação à segunda parte da equação (4.11), assume-se que, num intervalo de tempo não infinitesimal, pode ocorrer mais do que um salto. A versão discreta do modelo para a estimativa CF instantânea pode ser escrita como

$$R_{x+1} = R_x + \alpha R_x + R_x \Delta q \tag{4.13}$$

onde $\Delta q = \sum_{i=1}^v u_i$, com $u_i \sim U(u_{\min}, u_{\max})$ e v é definido por uma distribuição de Poisson com parâmetro π , isto é, $v \sim Po(\pi)$.

O valor atual da estimativa CF instantânea, num período, depende da estimativa CF instantânea do período anterior. Logo, o valor da estimativa CF instantânea para o primeiro período é $R_1 = R_0 + \alpha R_0 + R_0 \Delta q$. É pois, necessário, conhecer o valor inicial R_0 , que é um parâmetro de entrada do modelo.

Assumindo que a tarefa está finalizada no momento T , R_T é a estimativa CF da tarefa, obtido a partir da descrição anterior. No entanto, e como foi indicado nas considerações gerais, assume-se uma penalização, de acordo com o tempo de finalização da tarefa, isto é, quanto mais tempo a tarefa demorar a ser finalizada, maior será a penalização na estimativa CF. A penalização mencionada pode ser expressa a partir de uma função $g(x)$, onde x representa o tempo. Esta função é positiva, decrescente e toma valores no intervalo $[0, 1]$. Acrescentando esta característica, o valor final esperado para a estimativa CF da tarefa é $R_T \times g(T)$.

Note-se que, se não existir penalização, $g(x) = 1, \forall x$.

4.3.4 O valor atual líquido da tarefa

Para o modelo e procedimento de avaliação, é necessário calcular o valor atual líquido da tarefa, em cada unidade de trabalho $j, j = 1, \dots, D$ e em relação ao início de cada unidade de trabalho, isto é, em relação ao instante x_j . Este valor atual líquido inclui o valor atual esperado para a estimativa CF no fim da tarefa, e o valor atual dos custos remanescentes totais. Estes valores atuais são calculados, relativamente ao instante x_j . Assim, e assumindo que a tarefa está concluída ao fim de T unidades de tempo, o valor atual líquido da tarefa no início da unidade de trabalho j , é $Val(j, x_j)$, e é determinado como se segue:

$$Val(j, x_j) = R_T \times g(T) \times e^{-r(T-x_j)} - TotC(j, x_j) \quad (4.14)$$

4.4 Procedimento para avaliar tarefas de I&D

O objetivo do procedimento é avaliar tarefas de uma ação de um projeto de I&D, fornecendo a melhor estratégia para a sua execução. Isto é, o objetivo do procedimento é descobrir qual o melhor nível de recursos a utilizar, em cada unidade de trabalho. Assume-se que as tarefas em avaliação seguem o modelo descrito na secção anterior. Para este procedimento, utilizamos um método similar ao LSM (Longstaff e Schwartz, 2001).

No início do processo, constroem-se caminhos com diferentes estratégias. Uma estratégia consiste na definição de regras que permitam encontrar o melhor nível de recursos a utilizar em cada unidade de trabalho. As estratégias utilizadas para construir os caminhos incluem a execução de todas as unidades de trabalho com o mesmo nível de recursos, ou a execução das unidades de trabalho através de diferentes níveis de recurso. Para cada estratégia, simulam-se muitos caminhos para o tempo de execução da tarefa, a partir do modelo do tempo apresentado na secção anterior. Com os valores do tempo e a definição da estratégia, isto é, sabendo o tempo que cada unidade de trabalho demora a ser executada e o nível de recursos utilizado, podem determinar-se os custos como descrito na secção anterior; com o modelo da estimativa CF da tarefa, podem simular-se os valores para a estimativa CF instantânea, e, conseqüentemente estimar-se a estimativa CF da tarefa; finalmente, pode determinar-se, para cada caminho, e em cada unidade de trabalho, o valor atual líquido da tarefa.

Neste processo, constroem-se, para todas as unidades de trabalho, desde a última até à primeira, funções de regressão em relação a valores previamente calculados nos caminhos (Figura 4.2). Estas funções de regressão explicam o valor atual líquido da tarefa em função de diferentes variáveis de estado. Estas variáveis de estado são o tempo que já decorreu, a estimativa CF instantânea, e o número de unidades de trabalho já concluídas.

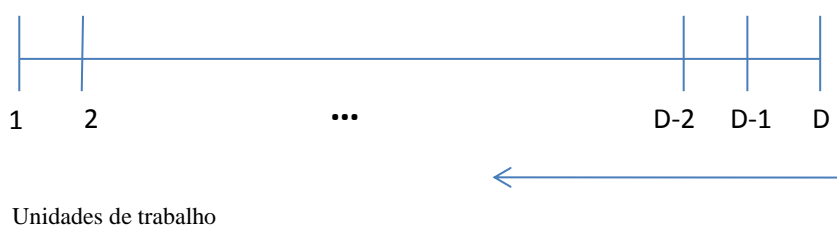


Figura 4.2 - O processo desenvolve-se desde a última unidade até à primeira

O processo de avaliação começa na última unidade de trabalho. Para todos os caminhos simulados inicialmente, é considerada a estimativa CF instantânea da tarefa observada no início da última unidade, bem como o tempo decorrido até então. Assumindo um nível específico de recursos, k_D , para completar a última unidade, o tempo para completar a tarefa é redefinido, assim como o valor atual líquido da tarefa na última unidade, em todos os caminhos. Para todos os caminhos, tomam-se os valores do valor atual líquido recalculado, o tempo decorrido até ao início da última unidade, e a estimativa CF instantânea observada nesse instante. Constrói-se, então, uma função de regressão. Esta função explica o valor atual líquido da tarefa, na última unidade, em função do tempo decorrido até ao início da última unidade, e em função da estimativa CF instantânea observada no início dessa última unidade. O propósito desta função, $F_{D,k_D}(\cdot)$, é explicar o valor atual líquido da tarefa recalculado na

última unidade de trabalho, $(V|k_D)$, através das variáveis de estado tempo decorrido $(Y_{1,D})$ e estimativa CF instantânea observada $(Y_{2,D})$. A regressão é feita através de uma constante e dos termos

$$Y_{1,D}, Y_{2,D}, Y_{1,D}^2, Y_{2,D}^2 \text{ e } Y_{1,D}Y_{2,D}, \text{ isto é, } F_{D,k_D}(\cdot) = b_0 + b_1Y_{1,D} + b_2Y_{2,D} + b_3Y_{1,D}Y_{2,D} + b_4Y_{1,D}^2 + b_5Y_{2,D}^2$$

Assumimos estas funções de base, mas outras podiam ter sido escolhidas, sem alterar, significativamente, os resultados do processo de avaliação (Stentoft, 2004).

Este procedimento é repetido, assumindo os outros níveis de recursos na execução da última unidade de trabalho. Assim, considerando que existem N níveis de recurso, na última unidade de trabalho, e para cada um dos níveis de recurso $k_D, k_D = 1, 2, \dots, N$, construímos uma função $F_{D,k_D}(\cdot)$, que explica o valor atual líquido da tarefa recalculado, em função do tempo decorrido (até ao início da última unidade de trabalho) e em função da estimativa CF instantânea observada no início da última unidade de trabalho (Figura 4.3).

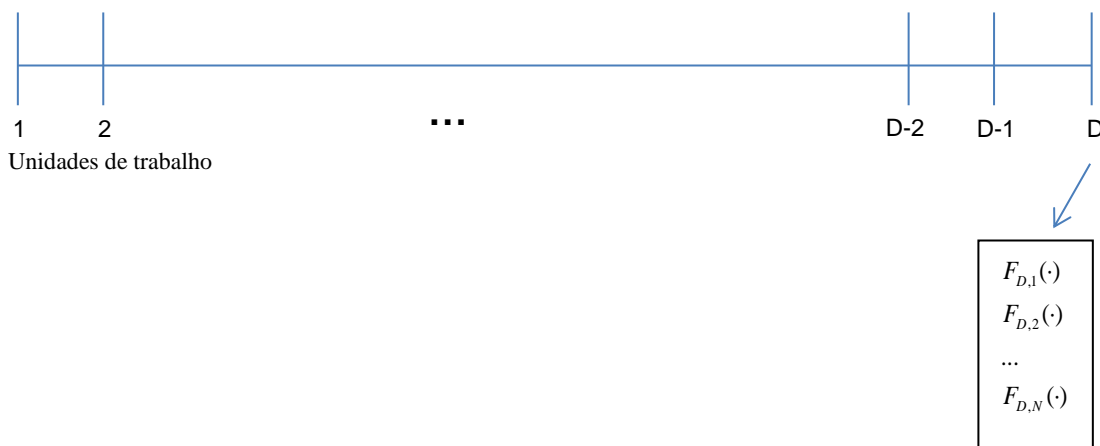


Figura 4.3 - Funções construídas na última unidade de trabalho

Para as unidades anteriores, o processo baseia-se no mesmo princípio: considera-se que cada unidade de trabalho, digamos j , é executada por um nível de recursos específico. Em seguida, o valor atual líquido da tarefa, para essa unidade, é recalculado, através da definição da melhor estratégia desde a unidade seguinte, $j + 1$, até à última, D . A definição da melhor estratégia é feita usando as funções de regressão já determinadas (Figura 4.4) e os custos de mudança de nível: para cada uma das unidades de trabalho seguintes, o nível de recursos escolhido é o que conduz a um maior valor da tarefa, que corresponde à diferença entre o valor obtido da função de regressão nessa unidade e o custo da mudança de nível (caso o nível de recursos seja diferente em relação à unidade de trabalho anterior).

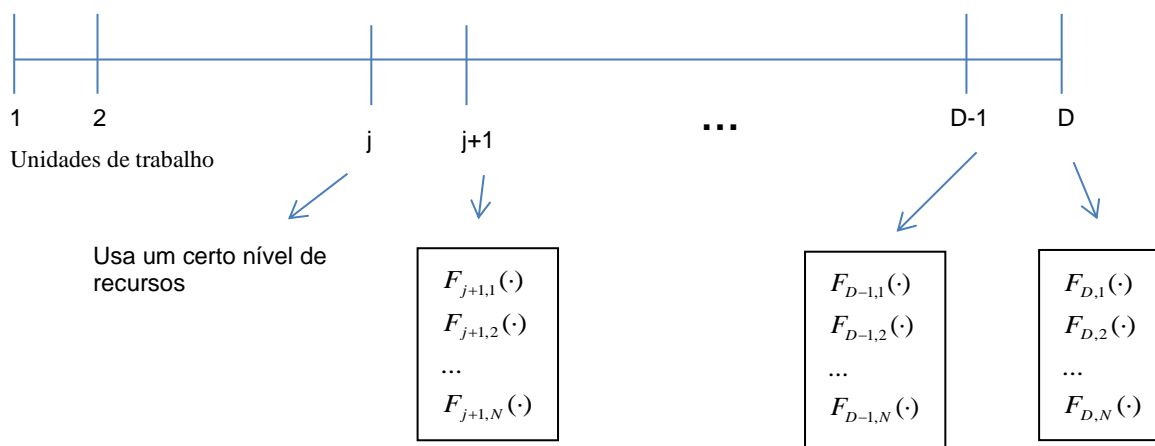


Figura 4.4 - Funções que permitem a definição da melhor estratégia desde a unidade $j+1$ até à última unidade D

Assumindo um nível de recursos específico na unidade j , e com a melhor estratégia definida desde a unidade de trabalho $j+1$ até à última, pode-se calcular o valor atual líquido da tarefa na unidade j , relativamente ao instante em que a unidade j começa. Com os valores atuais líquidos da tarefa recalculados em todos os caminhos, para a unidade j , com o tempo decorrido até ao início da unidade j , e com a estimativa CF instantânea observada nesse instante, uma função de regressão é construída. Esta função explica o valor atual líquido da tarefa na unidade j , em função do tempo decorrido até ao início da unidade de trabalho j e em função da estimativa CF instantânea observada no início dessa unidade.

Para a unidade de trabalho j , este procedimento é repetido, assumindo os outros níveis de recurso na sua execução. Desta forma, construímos funções de regressão, para todos os níveis de recurso, na unidade de trabalho j , que explicam o valor atual líquido da tarefa em função do tempo decorrido e da estimativa CF instantânea observada.

O processo continua, de forma regressiva, até à segunda unidade. Este processo permite, para cada unidade de trabalho, desde a segunda até à última, e para cada nível de recursos, ter uma função de regressão que explica o valor atual líquido da tarefa, a partir do tempo decorrido e da estimativa CF instantânea observada (Figura 4.5).

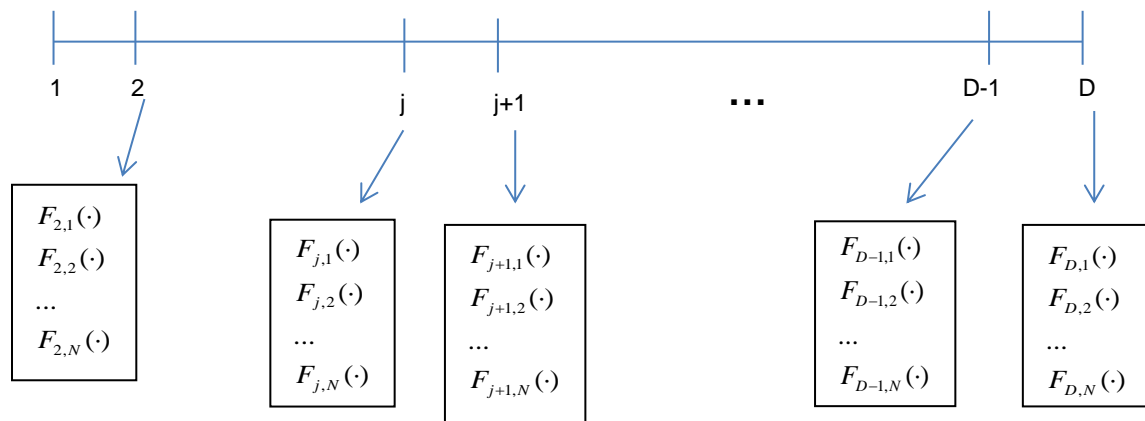


Figura 4.5 - Funções de regressão, explicando o valor da tarefa em ordem ao tempo decorrido e à estimativa CF instantânea

Para a primeira unidade, não faz sentido construir as funções de regressão, pois o valor da estimativa CF instantânea observada no início dessa unidade é R_0 e o tempo decorrido é 0, isto é, os valores das variáveis de estado, tempo decorrido e estimativa CF instantânea, são constantes. Assim, e para avaliar a melhor estratégia na primeira unidade de trabalho, considera-se cada nível de recursos para iniciar a tarefa, e com as funções de regressão já encontradas, é definida a melhor estratégia, desde a segunda unidade até à última, e em todos os caminhos. Com a melhor estratégia definida em todos os caminhos, é calculado o respetivo valor atual líquido. A média dos valores obtidos nos caminhos que iniciaram a tarefa com um determinado nível de recursos é uma estimativa para o valor atual líquido inicial da tarefa, considerando esse nível de recursos para a iniciar. O nível de recursos que deve ser escolhido para executar a primeira unidade (para começar a tarefa) é o que originar um maior valor atual líquido médio da tarefa.

Com o procedimento descrito, a estratégia ótima é definida para os caminhos construídos inicialmente. Esta estratégia ótima, em cada caminho, permite calcular o valor atual líquido da tarefa, em todas as unidades de trabalho. As funções de regressão encontradas irão permitir também a construção de regras que orientem na decisão sobre o melhor nível de recursos a utilizar. Assim, conhecendo o valor das variáveis de estado, e sabendo que nível de recursos foi utilizado na unidade de trabalho anterior, é possível, a partir das equações de regressão, definir regras que indiquem a melhor estratégia para a unidade seguinte, isto é, é possível definir regras que indiquem o nível de recursos que deve ser utilizado na unidade de trabalho seguinte. Estas regras são, assim, definidas a partir das variáveis de estado tempo decorrido e estimativa CF instantânea.

4.5 Algoritmo do procedimento de avaliação

Nesta secção do capítulo é apresentado o algoritmo do procedimento de avaliação descrito anteriormente. Considera-se que a tarefa é composta por D unidades de trabalho. Como foi descrito na secção anterior, inicialmente, são simulados caminhos com diferentes estratégias. O conjunto destes caminhos é que permite a execução do procedimento de avaliação, já descrito na secção anterior. As estratégias iniciais podem consistir em executar todas as unidades de trabalho com um só nível de recursos ou com níveis de recurso diferentes. Para cada estratégia, são, então, simulados vários caminhos. O número de estratégias iniciais é definido por Es . Além das estratégias iniciais, é essencial definir todos os parâmetros necessários ao modelo de avaliação. Considera-se, também, que existem N níveis distintos de recursos. Assim, o algoritmo do procedimento é o seguinte.

1. Construção dos caminhos iniciais:

1.1 São gerados valores da distribuição exponencial do modelo do tempo de execução, referente ao primeiro nível de recursos, para as D unidades de trabalho, em todos os $ncam$ caminhos pretendidos. Com estes valores gerados, são definidos os tempos de execução de todos os níveis de recurso $k=1, \dots, N$, em todos os caminhos, e para todas as unidades de trabalho, através da relação

$$\frac{M^{(k)}}{D} + t_i^{(1)} \times \frac{\mu^{(1)}}{\mu^{(k)}}, \text{ onde } t_i^{(1)} \text{ representa o valor gerado a partir da função exponencial, relativo ao}$$

primeiro nível de recursos. Após este procedimento, obtêm-se os tempos de execução de todos os níveis de recurso, para todas as unidades de trabalho, e em todos os caminhos.

1.2 Para cada estratégia inicial definida, são calculados, em todos os $ncam$ caminhos, os tempos de execução da tarefa, através da soma dos tempos de execução das unidades de trabalho. Assim, no total, são construídos $ncam \times Es$ caminhos.

1.3 Para cada um dos $ncam \times Es$ caminhos, são definidas as estimativas CF instantâneas de cada momento temporal, considerando que o intervalo entre dois momentos é $\Delta x = 1$, desde o momento 1 até a um momento superior ao maior tempo de execução gerado. Isto acontece para que, independentemente do tempo de execução, exista sempre um valor guardado para a estimativa CF instantânea, para todos os momentos. Tomando como valor inicial R_0 , para os instantes seguintes, é

utilizado o modelo da estimativa CF instantânea: $R_{x+1} = R_x + \alpha R_x + R_x \Delta q$, em que $\Delta q = \sum_{i=1}^v u_i$, com

$u_i \sim U(u_{\min}, u_{\max})$ e $v \sim Po(\pi)$, isto é, para cada momento x , e em cada caminho, o valor de v é gerado aleatoriamente, a partir da distribuição de Poisson, e cada valor de u_i é gerado aleatoriamente, a partir da distribuição uniforme.

1.4 Calcula-se o valor atual líquido da tarefa, em todos os $ncam$ caminhos, para cada uma das Es estratégias iniciais. Sendo T o momento final da tarefa, e R_T a estimativa CF final da tarefa, se T não for um momento inteiro, então $R_T = R_{\lfloor T \rfloor} + (R_{\lfloor T \rfloor + 1} - R_{\lfloor T \rfloor}) \times (T - \lfloor T \rfloor)$.

2. Construção das funções de regressão para a última unidade de trabalho D , para cada nível de recursos $k_D = 1, \dots, N$:

2.1 Em todos os $ncam \times Es$ caminhos construídos inicialmente, considerar o tempo decorrido até ao início da última unidade, isto é, considerar o tempo decorrido até à finalização da unidade de trabalho $D-1$. Considerar também, para cada um desses tempos, a estimativa CF instantânea, afetada pela respetiva penalização, definida pela função g .

2.2 Recalcular o tempo de finalização da tarefa, T , em todos os caminhos, $i = 1, \dots, ncam \times Es$ sabendo que a última unidade é executada pelo nível de recursos k_D : o valor de T será $Y_{1,D}(i)$ adicionado pelo tempo que demora a última unidade a ser executada pelo nível de recursos k_D . Este tempo adicional foi definido, aquando da geração dos tempos de execução (ponto 1.1 do algoritmo).

2.3 Com o tempo de finalização recalculado, calcula-se a estimativa CF final da tarefa, que é dada por $R_T \times g(T)$. Os custos totais, em cada caminho, serão apenas os custos de executar a última unidade de trabalho, com o nível de recursos k_D .

2.4 Calcular, em cada caminho, $i = 1, \dots, ncam \times Es$, o valor atual líquido da tarefa, $V | k_D$, atualizado ao instante $Y_{1,D}(i)$, onde se inicializa a última unidade:

$$V | k_D = Val(D, k_D) = R_T \times g(T) \times e^{-r(T - Y_1(i))} - \frac{C_0^{(k_D)} e^{rY_1(i)}}{\rho - r} (e^{(\rho - r)T} - e^{(\rho - r)Y_1(i)}).$$

2.5 Calcular a função de regressão, $F_{D,k_D}(\cdot)$, que explica $V | k_D$ em função de $Y_{1,D}$ e $Y_{2,D}$, que são as variáveis de estado definidas, respetivamente, por tempo decorrido até ao início da unidade de trabalho D e estimativa CF instantânea observada no início da unidade de trabalho D , através da relação $F_{D,k_D}(\cdot) = b_0 + b_1 Y_{1,D} + b_2 Y_{2,D} + b_3 Y_{1,D} Y_{2,D} + b_4 Y_{1,D}^2 + b_5 Y_{2,D}^2$. As constantes b_i , $i = 0, 1, \dots, 5$ são calculadas, a partir do método de regressão dos mínimos quadrados.

3. Construção das funções de regressão para as unidades de trabalho $j = D-1, D-2, \dots, 2$, para cada nível de recursos $k_j = 1, \dots, N$:

3.1 Em todos os caminhos construídos inicialmente, considerar o tempo decorrido até ao início da unidade j , isto é, considerar o tempo decorrido até à finalização da unidade de trabalho. Considerar também, para cada um desses tempos, a estimativa CF instantânea, afetada pela respetiva penalização, definida pela função g .

3.2 Para cada caminho original, e considerando que a unidade de trabalho j é executada pelo nível de recursos k_j , é determinada a melhor estratégia desde a unidade de trabalho $j+1$ até à unidade de trabalho D . A definição da melhor estratégia, $es(k_j)$, é feita recorrendo às funções de regressão já definidas para as unidades $w = j+1, \dots, D$. Assim, para cada unidade $w = j+1, \dots, D$, o nível de recursos a ser introduzido na melhor estratégia $es(k_j)$, é $\max_{k_w=1, \dots, N} \{F_{w, k_w}(\cdot) - \gamma(k_{w-1}, k_w)\}$.

3.3 Com a melhor estratégia em cada caminho, considerar o tempo de execução de cada unidade de trabalho, a fim de determinar o tempo total de execução da tarefa.

3.4 Em cada caminho, e com a melhor estratégia encontrada $es(k_j)$, calculam-se os custos totais:

$$TotC(j, x_j) = \sum_{a=j}^{D-1} [C_{a, x_j}^{(k_a)} + \gamma(k_a, k_{a+1}) e^{\rho x_{a+1}} e^{-r(x_{a+1} - x_j)}] + C_{D, x_j}^{(k_D)}$$
, onde x_j é o instante em que a unidade j se inicializa e k_a é o nível de recursos da estratégia $es(k_j)$ para a unidade de trabalho a .

3.5 Para cada caminho, calcula-se o valor atual líquido para a unidade de trabalho j , determinado por $V | k_j = Val(j, x_j) = R_T \times g(T) \times e^{-r(T - x_j)} - TotC(j, x_j)$, onde T é o instante de finalização da tarefa, determinado no ponto 3.3.

3.6 Calcular a função de regressão, $F_{j, k_j}(\cdot)$, que explica $V | k_j$ em função de $Y_{1, j}$ e $Y_{2, j}$, que são as variáveis de estado definidas, respetivamente, por tempo decorrido até ao início da unidade de trabalho j e estimativa CF instantânea observada no início da unidade de trabalho j , através da relação $F_{j, k_j}(\cdot) = b_0 + b_1 Y_{1, j} + b_2 Y_{2, j} + b_3 Y_{1, j} Y_{2, j} + b_4 Y_{1, j}^2 + b_5 Y_{2, j}^2$. As constantes b_i , $i = 0, 1, \dots, 5$ são calculadas, a partir do método de regressão dos mínimos quadrados.

4. Determinar, em cada caminho, a melhor estratégia desde a unidade de trabalho 1 até à última unidade de trabalho D

4.1 Considerar cada nível de recursos $k_1 = 1, \dots, N$ para executar a primeira unidade de trabalho, em todos os caminhos.

4.1.1 Construir, em cada caminho, a melhor estratégia $es(k_1)$ para a execução da tarefa, através das funções de regressão já determinadas. O melhor nível de recursos para executar cada unidade de trabalho $j = 2, \dots, D$ é o que corresponde a $\max_{k_j=1, \dots, N} \{F_{j, k_j}(\cdot) - \gamma(k_{j-1}, k_j)\}$.

4.1.2 Com a melhor estratégia em cada caminho, considerar o tempo de execução de cada unidade de trabalho, a fim de determinar o tempo total de execução da tarefa.

4.1.3 Em cada caminho, e com a melhor estratégia encontrada, $es(k_1)$, calculam-se os custos totais: $TotC(1, 0) = \sum_{a=1}^{D-1} [C_{a,0}^{(k_a)} + \gamma(k_a, k_{a+1})e^{\rho x_{a+1}} e^{-r(x_{a+1}-0)}] + C_{D,0}^{(k_D)}$. Note-se que os custos estão atualizados ao instante 0, já que é esse o instante inicial definido para a tarefa.

4.1.4 Para cada caminho, calcula-se o valor atual líquido para a tarefa, determinado por $Val(1, 0) = R_r \times g(T) \times e^{-r(T-0)} - TotC(1, 0)$, onde T é o instante de finalização da tarefa, calculados em 4.1.2.

4.2 Para cada $k_1 = 1, \dots, N$, seja o valor médio dos valores calculados em 4.1.4 denominado por $ValF(k_1)$.

4.3 O nível de recursos escolhido para iniciar a tarefa é $best = \max_{k_1=1, \dots, N} \{ValF(k_1)\}$. O valor esperado da tarefa é $ValF(best)$. Em cada caminho, a estratégia ótima será $es(best)$.

4.6 Implementação

A implementação do procedimento de avaliação foi feita recorrendo ao software MatLab (MATrix LABoratory) e seguindo o algoritmo descrito. No entanto, para melhor entendimento e organização, foram utilizados quatro ficheiros de programação: um procedimento geral e três funções.

Uma das funções guarda e envia ao procedimento geral, todos os dados necessários ao modelo de avaliação. Ou seja, esta função contém o número de caminhos, o número de níveis de recurso e os respetivos parâmetros necessários aos modelos do tempo e dos custos, bem como os parâmetros necessários à estimativa CF da tarefa. A taxa de atualização é o único parâmetro de entrada, pedido no procedimento geral.

Outra função corresponde aos pontos 1.1 e 1.2 do algoritmo. Ou seja, esta função calcula e guarda os tempos de execução da tarefa de todas as unidades de trabalho, para cada uma das estratégias iniciais e

em todos os caminhos. Nesta parte, recorreu-se à função própria do MatLab, *exprnd*, que gera, aleatoriamente, valores da função exponencial.

O procedimento geral executa o restante algoritmo. No cálculo da estimativa CF da tarefa, em cada instante, também é necessário recorrer à geração de valores das distribuições uniforme e Poisson. Esta geração foi feita recorrendo também a funções próprias do MatLab, *unifrnd* e *poissrnd*, respetivamente. Durante o procedimento, é necessário determinar funções de regressão, de acordo com o algoritmo. A regressão foi feita recorrendo a uma terceira função, cujo objetivo é devolver os 5 coeficientes de cada regressão, tendo como dados de entrada a variável dependente (valores atuais líquidos) e as variáveis independentes (tempo decorrido e estimativa CF instantânea). Esta terceira função construída utiliza outra função própria do Matlab, *regress*, que executa a regressão, pelo método dos mínimos quadrados.

Na Secção 4.7, são apresentados alguns exemplos numéricos para a execução do procedimento. Para melhor apresentar os resultados, recorreu-se à construção de gráficos. Estes gráficos foram construídos, utilizando, quer o Microsoft Excel, quer o software MatLab.

4.7 Exemplos numéricos

Para testar o procedimento de avaliação, considerou-se uma tarefa que pode ser executada por dois níveis de recurso, o nível 1 e o nível 2. Também se considerou que o número de unidades de trabalho necessário para finalizar a tarefa é $D=40$. Definiu-se a taxa de atualização como $r = 0.1\%$.

Foram definidas as seguintes três estratégias iniciais: executar toda a tarefa com o mesmo nível de recursos (nível 1 e nível 2); executar metade da tarefa com o nível 1 e a outra metade com o nível 2. Foram considerados $ncam = 700$, o que resulta num total de 2100 caminhos.

Apresenta-se, em seguida, um teste, em que o nível 1 domina inteiramente o nível 2, já que os parâmetros relativos ao tempo de execução são iguais e os custos do nível 1, por unidade de tempo, são estritamente inferiores aos do nível 2. Os resultados esperados para este teste são a seleção do nível 1, em todos os caminhos e em todas as unidades de trabalho. Na Tabela 4.1, são apresentados os parâmetros desse teste:

Tempo	$M^{(1)} = M^{(2)} = 0$; $\mu^{(1)} = 1.5$ $\mu^{(2)} = 1.5$
Custos	$C_0^{(1)} = 10$ $C_0^{(2)} = 30$; $\gamma(k_j, k_{j+1}) = C_0^{(k_{j+1})}$, $k_j \neq k_{j+1}$; $\rho = 0.25\%$
Estimativa CF instantânea	$R_0 = 2000$; $\alpha = 1\%$; $v \sim Po(0.4)$; $u_i \sim U(-0.2, 0.2)$

Tabela 4.1 – Parâmetros de entrada para o primeiro teste

Considera-se que a função penalização para a estimativa CF instantânea é $g(x) = 1, \forall x$, isto é, o tempo de execução da tarefa não penaliza o valor da estimativa CF.

Para os caminhos simulados, exclusivamente pelo nível 1, o tempo médio de execução da tarefa foi de 26.66, com um valor atual líquido inicial de 2256.80. Para os caminhos construídos, exclusivamente pelo nível 2, o tempo médio de execução da tarefa foi de 26.66, com um valor atual líquido inicial de 1712.61.

Depois de executar o procedimento descrito na secção anterior, o tempo médio de execução foi de 26.66 e um valor atual líquido inicial para a tarefa de 2256.80, isto é, obtiveram-se os valores para a execução da tarefa, usando sempre o nível 1 de recursos. A estratégia obtida pelo processo de avaliação foi, assim, executar toda a tarefa com o nível 1, como seria de esperar (Figura 4.6).

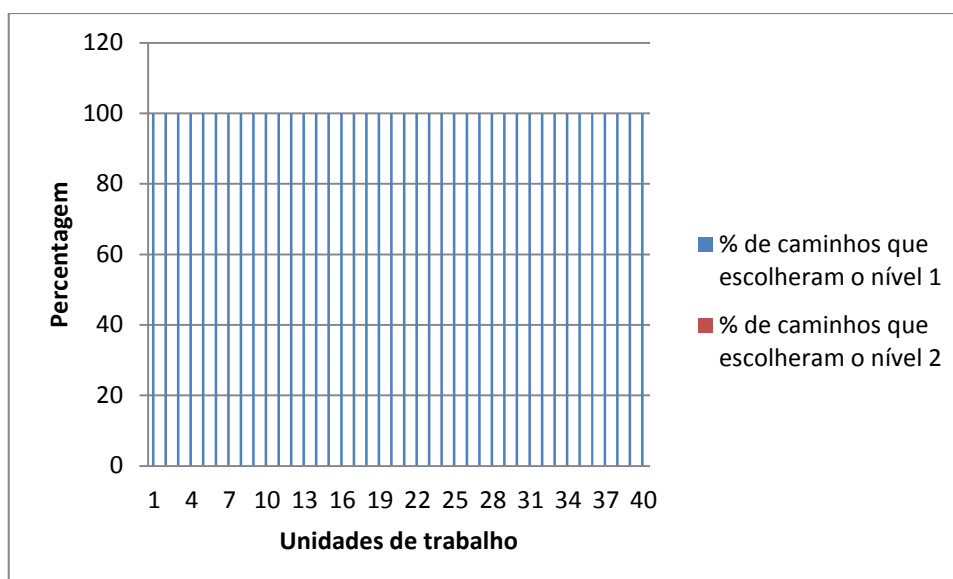


Figura 4.6 - Percentagem de caminhos que escolhem cada nível de recursos, ao longo da tarefa, depois de aplicado o processo de avaliação

Em seguida, é apresentado outro teste, mas em que nenhum dos níveis de recurso é, à partida, dominante, e em que existe penalização para a estimativa CF instantânea. Os parâmetros necessários estão na Tabela 4.2 e a taxa de atualização continua a ser $r = 0.1\%$:

Tempo	$M^{(1)} = M^{(2)} = 0$; $\mu^{(1)} = 1.5$ $\mu^{(2)} = 3$
Custos	$C_0^{(1)} = 10$ $C_0^{(2)} = 30$; $\gamma(k_j, k_{j+1}) = C_0^{(k_{j+1})}$, $k_j \neq k_{j+1}$; $\rho = 0.25\%$
Estimativa CF instantânea	$R_0 = 2000$; $\alpha = 1\%$; $v \sim Po(0.4)$; $u_i \sim U(-0.2, 0.2)$

Tabela 4.2 – Parâmetros de entrada para o procedimento de avaliação

Com os valores definidos para a taxa de atualização, para a taxa de crescimento da estimativa CF e para a taxa de crescimento dos custos, existiria benefício em atrasar a conclusão da tarefa, na ausência de penalização. No entanto, a função de penalização irá inverter esta tendência até ao momento 26, já que, para este exemplo, a função de penalização para a estimativa CF instantânea penaliza a estimativa

CF da tarefa até 10%, se a tarefa demorar menos de 15 unidades de tempo a ser executada; se a tarefa durar entre 16 e 26 unidades de tempo, a estimativa CF da tarefa é penalizada até 30%; se a tarefa demorar mais do que 26 unidades de tempo, a penalização é constante: 30%. Assim, a função de penalização é dada por

$$g(x) = \begin{cases} 1 - \frac{x}{15} \times 0.1, & \text{if } x \leq 15 \\ 0.9 - \frac{x-15}{(26-15)} \times 0.2, & \text{if } 15 < x \leq 26 \\ 0.7, & \text{if } x > 26 \end{cases}$$

As estratégias iniciais consideradas foram as mesmas do teste anterior. Para os caminhos simulados, exclusivamente pelo nível 1, o tempo médio de execução da tarefa foi de 26.62, com um valor atual líquido inicial de 1561.97. Para os caminhos construídos, exclusivamente pelo nível 2, o tempo médio de execução da tarefa foi de 13.31, com um valor atual líquido inicial de 1640.05.

Depois de executar o procedimento descrito na secção anterior, o tempo médio de execução foi de 13.94 e o valor atual líquido inicial para a tarefa foi de 1647.72.

Analisando os resultados do processo de avaliação quanto à estratégia utilizada, o nível 2 é o mais escolhido ao longo de toda a tarefa. No entanto, nas últimas unidades de trabalho, em muitos caminhos, o nível de recursos 1 vai sendo progressivamente mais escolhido (Figura 4.7). Note-se que, se não fosse a função penalização, o nível 1 seria o mais escolhido. A função de penalização, até ao momento 26, leva a que a redução na estimativa CF seja superior ao crescimento induzido pela taxa de crescimento. A partir do momento 26, a redução é constante o que leva a que os caminhos cujo tempo de execução ultrapasse as 26 unidades de tempo seleccionem, o nível 1 de recursos se torne mais atrativo.

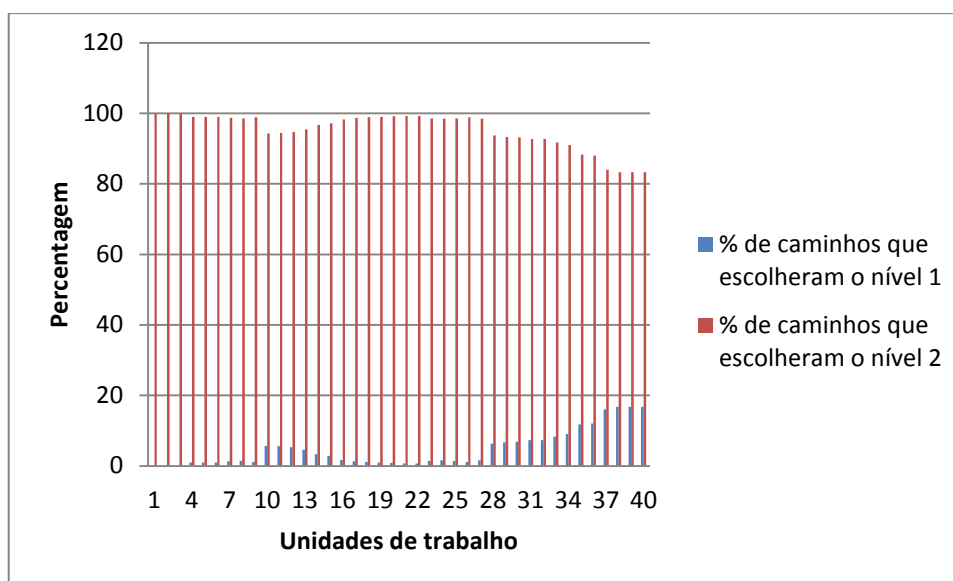


Figura 4.7 - Percentagem de caminhos que escolhem cada nível de recursos, ao longo da tarefa, depois de aplicado o processo de avaliação

Em seguida, mostra-se o efeito das variáveis de estado, estimativa CF instantânea e tempo decorrido, no valor atual líquido da tarefa. Para tal, foram analisadas as respectivas derivadas parciais nas funções de regressão que definem o valor atual líquido da tarefa, em todas as unidades de trabalho. Assim, para cada função de regressão, e em cada unidade de trabalho, durante o processo de avaliação, calcularam-se os valores médios das derivadas parciais em ordem à estimativa CF instantânea e em ordem ao tempo decorrido. Estes valores representam a variação média do valor atual líquido da tarefa, por cada unidade da respetiva variável de estado. Nas Figuras 4.8 e 4.9, temos uma representação gráfica destas influências. O efeito do tempo decorrido no valor atual líquido da tarefa é negativo, mas aproxima-se de 0, à medida que as unidades de trabalho vão sendo concluídas. Nas primeiras unidades de trabalho, verifica-se uma grande variabilidade nos valores do efeito do tempo decorrido no valor atual líquido da tarefa, devido ao facto do tempo decorrido assumir valores muito baixos e, por isso, consideraram-se os valores médios do efeito do tempo decorrido, a partir da quarta unidade. A título de exemplo, para o nível 2, o desvio padrão dos valores do efeito do tempo percorrido na unidade 2 é cerca de 40 e na unidade 39, o desvio padrão é cerca de 1.27.

O efeito da estimativa CF instantânea no valor atual líquido da tarefa aproxima-se de 1, com o decorrer da tarefa.

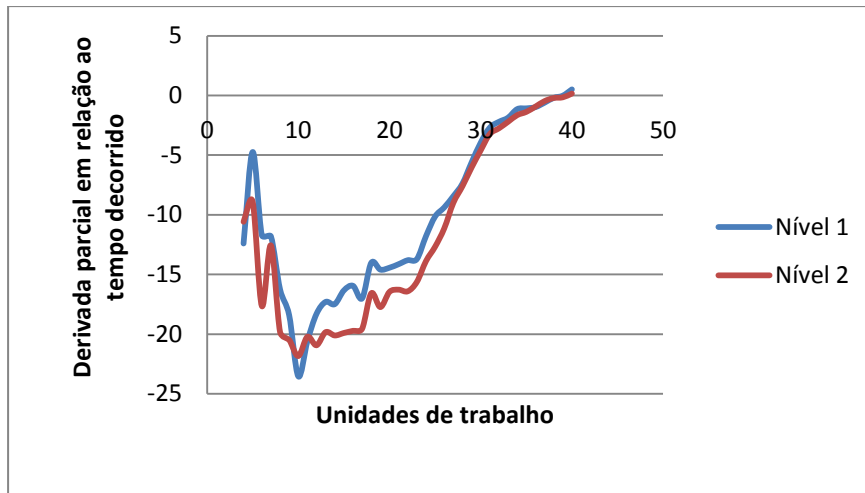


Figura 4.8 - Efeito do tempo decorrido no valor atual líquido da tarefa

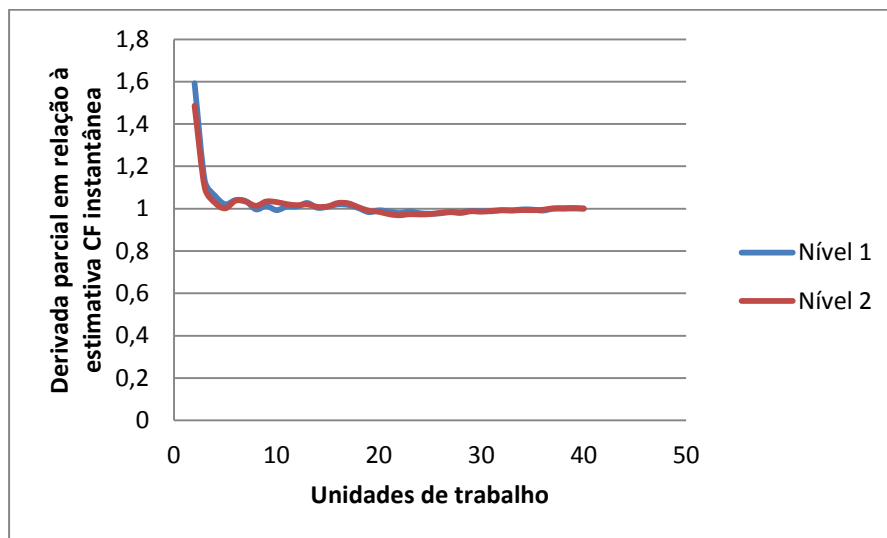


Figura 4.9 - Efeito da estimativa CF instantânea no valor atual líquido da tarefa

De forma a ajudar a perceber quais as decisões que se devem tomar, em cada momento, é possível definir, de forma clara, qual a estratégia que deve ser seguida. Isto é, sabendo o nível de recursos utilizado numa determinada unidade de trabalho, é possível perceber qual o nível de recursos a utilizar na unidade seguinte, tendo em conta a informação disponível. Para tal, e a partir das funções de regressão da unidade seguinte, é possível definir quando se deve continuar com o mesmo nível de recursos, e quando se deve trocar de nível. Estas decisões podem ser representadas em regiões num espaço bidimensional, definidas a partir das variáveis de estado estimativa CF instantânea e tempo decorrido. O gráfico onde se definem estas regiões ajuda a analisar o nível de recursos a utilizar na unidade de trabalho seguinte. Assim, se numa unidade de trabalho d , o nível de recursos utilizado foi o nível 1, a equação que define a linha fronteira entre as regiões “continuar com o nível 1” e “mudar

para o nível 2”, na próxima unidade de trabalho, $d + 1$, é $F_{d+1,1}(\cdot) = F_{d+1,2}(\cdot) - \gamma(1,2)e^{\rho x_{d+1}}$. Analogamente, se numa unidade de trabalho d , o nível 2 foi utilizado, a equação que determina a linha fronteira entre as regiões “continuar” e “mudar” e que ajuda a definir a melhor estratégia para a unidade seguinte, $d + 1$, é $F_{d+1,1}(\cdot) - \gamma(2,1)e^{\rho x_{d+1}} = F_{d+1,2}(\cdot)$.

Este estudo e análise serve, essencialmente, para explorar e analisar o modelo e procedimento de avaliação. Para os gestores, a maior utilidade dos resultados será perceber qual o nível de recursos que deve iniciar a tarefa. A análise pontual, em cada unidade de trabalho, como em seguida se discute com alguns exemplos, poderá ser útil, caso os gestores queiram fazer algum tipo de análise ao modelo ou à estratégia incorrida.

Vejam-se, então, alguns exemplos neste tipo de análise.

Considere-se que, no segundo exemplo dado, a unidade 7 da tarefa está concluída. Supondo que na unidade 7 foi utilizado o nível 1, pode analisar-se qual o nível de recursos a utilizar na unidade 8. Esta decisão pode ser apoiada num gráfico que define como deve ser escolhido o melhor nível de recursos para a unidade de trabalho 8. As regiões do gráfico “continuar com o nível 1” e “mudar para o nível 2” são delimitadas pelas linhas fronteira definidas a partir de $F_{8,1} = F_{8,2} - \gamma(1,2)e^{\rho x_8}$. Estas linhas relacionam a estimativa CF instantânea com o tempo decorrido no final da unidade 7. No gráfico, para além das linhas fronteira, colocaram-se, quando o nível 1 foi utilizado na unidade de trabalho 7, as escolhas dos caminhos para a unidade 8 (Figura 4.10):

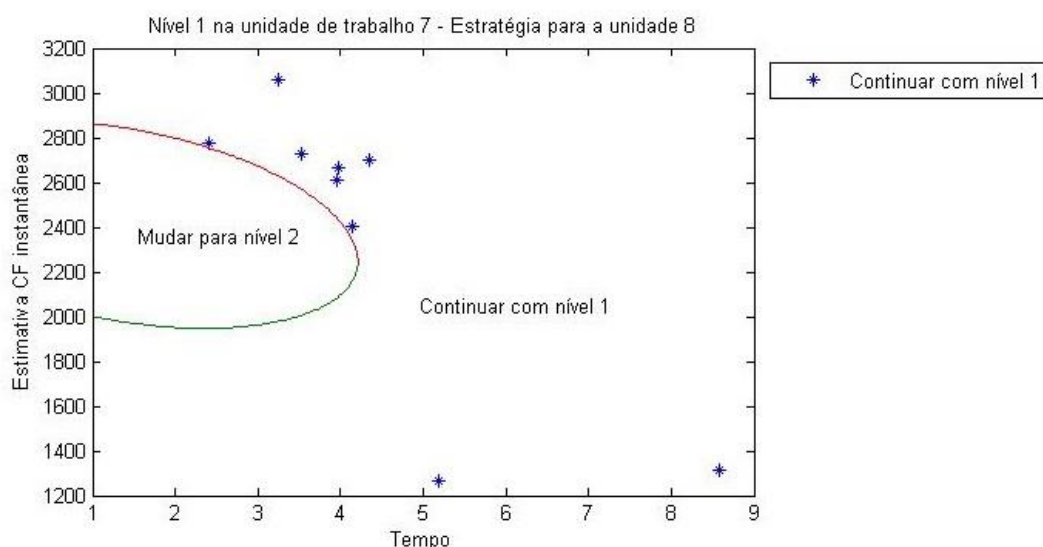


Figura 4.10 - Estratégia para a unidade 8, quando o nível 1 é usado na unidade 7

As pequenas estrelas correspondem aos caminhos que utilizaram o nível 1 na unidade de trabalho 7, e que continuaram com o nível 1 na unidade 8; neste exemplo, não existiram caminhos que utilizaram o nível 1 na unidade 7 e que mudaram para o nível 2 na unidade de trabalho 8. Considerando o gráfico apenas com as linhas fronteira, os valores da estimativa CF instantânea e do tempo decorrido, no final da unidade 7 (que utilizou o nível 1), permitem decidir sobre o nível de recursos a utilizar na unidade de trabalho 8.

Pode fazer-se a mesma análise, supondo que na unidade 7 foi utilizado o nível 2 de recursos. As linhas fronteiras são determinadas a partir da equação $F_{8,1}(\cdot) - \gamma(2,1)e^{\rho x_8} = F_{8,2}(\cdot)$.

Obtemos o gráfico da Figura 4.11:

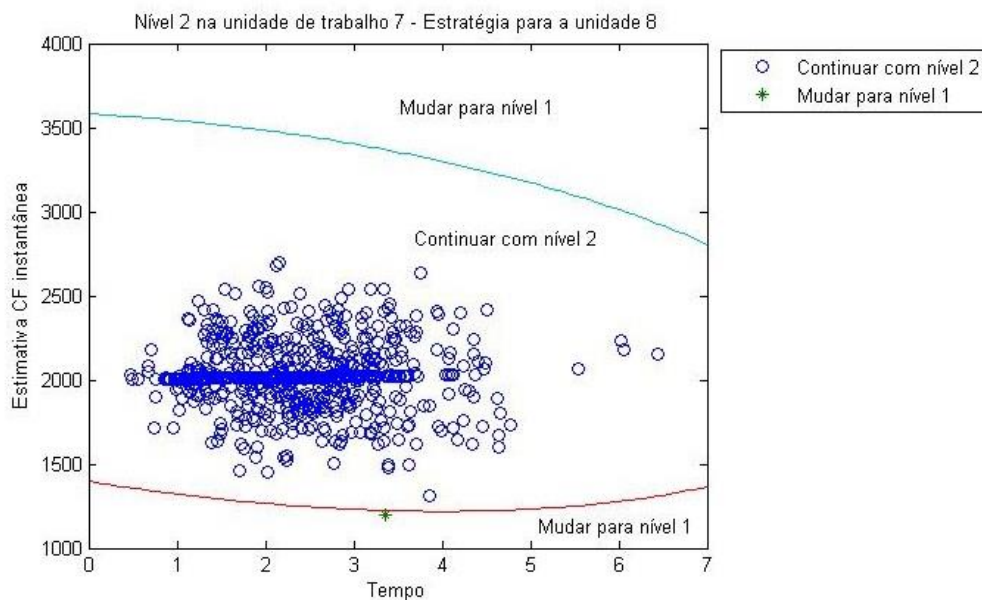


Figura 4.11 - Estratégia para a unidade 8, quando o nível 2 é usado na unidade 7

No final da unidade de trabalho 7, que foi finalizada com o nível 2, a localização dos valores observados para a estimativa CF instantânea e para o tempo decorrido ajudam a analisar sobre o nível de recursos a utilizar na unidade de trabalho 8. Note-se que, no caso do exemplo, apenas um caminho utilizou o nível 2 na unidade de trabalho 7 e mudou para o nível 1, na unidade 8.

Suponha-se, agora, que, no exemplo dado, não existem custos de mudança de nível de recursos. Depois de executar o procedimento de avaliação, o tempo médio de execução foi de 16.14 e o valor atual líquido inicial para a tarefa foi de 1651.07. Note-se que executando a tarefa exclusivamente pelo nível 1, obtém-se um valor atual líquido para a tarefa de 1545.47, com tempo de 26.82, enquanto que

executando a tarefa exclusivamente pelo nível 2, obtém-se um valor atual líquido para a tarefa de 1633.22, com tempo de 13.41. Os resultados obtidos mostram, também, que após o processo de avaliação, o nível 2 é o nível mais escolhido, apesar do procedimento de avaliação sugerir que a tarefa se inicie com o nível 1 de recursos. Verifica-se, também, um grande aumento de mudanças de nível de recurso, devido à inexistência de custos de mudança. A Figura 4.12 mostra a percentagem de caminhos que escolheram cada um dos níveis de recurso em cada uma das unidades de trabalho.

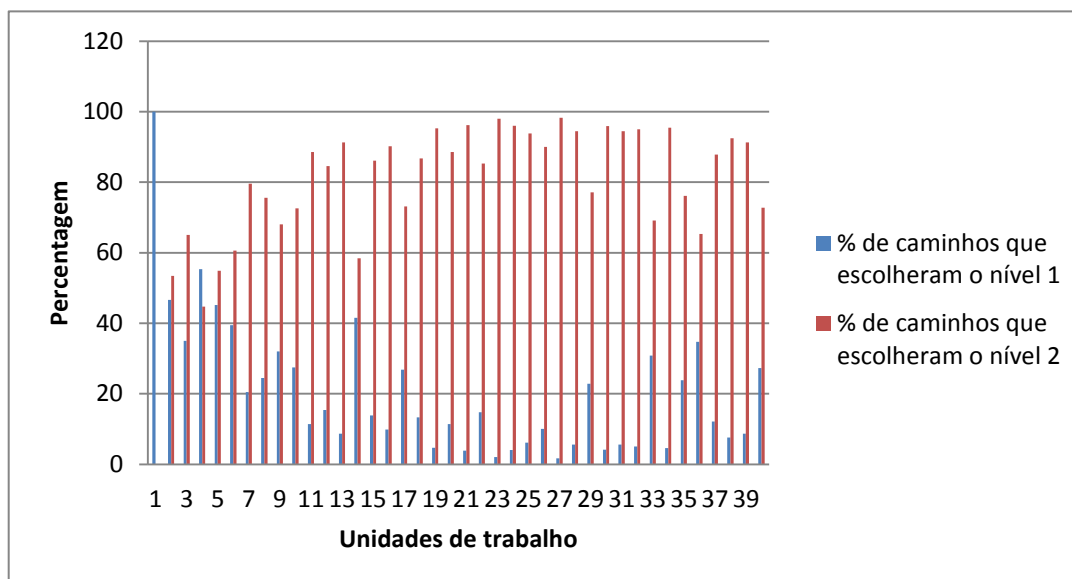


Figura 4.12 – Percentagem de caminhos que escolheram cada um dos níveis de recurso, depois de aplicado o procedimento de avaliação

Fazendo um estudo análogo ao exemplo anterior, suponha-se que a unidade de trabalho 12 foi finalizada. A partir do tempo decorrido e da estimativa CF instantânea observada no final da unidade de trabalho 12, é possível analisar qual é o nível de recursos que deve ser utilizado na unidade de trabalho 13. O procedimento é o mesmo que foi descrito anteriormente. Note-se apenas que os custos de mudança são zero, pelo que as linhas fronteira são obtidas a partir da equação $F_{13,1}(\cdot) = F_{13,2}(\cdot)$. Estas linhas fronteira são, conseqüentemente, as mesmas para ambos os casos de utilização do nível 1 e do nível 2 na unidade de trabalho 12.

Como foi referido, as regras que definem o nível de recursos a utilizar na unidade 13 dependem do nível de recursos utilizado anteriormente, na unidade de trabalho 12. Considerando os caminhos que escolheram o nível 1 de recursos na unidade 12, consideram-se as escolhas feitas, para estes caminhos,

na unidade de trabalho 13. Com esta informação e com as linhas fronteira construídas a partir das equações de regressão, obteve-se o seguinte gráfico (Figura 4.13):

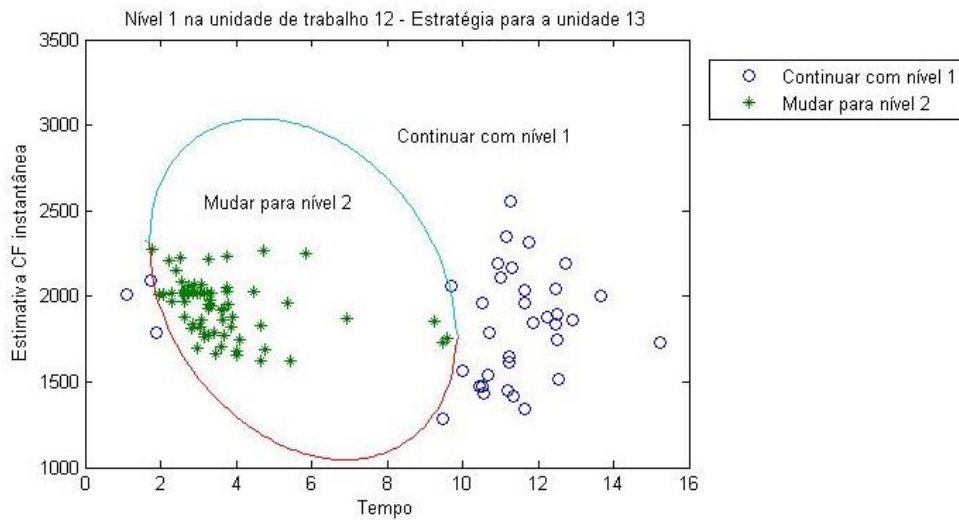


Figura 4.13 - Estratégia para a unidade 13, quando o nível 1 é usado na unidade 12

Os valores da estimativa CF instantânea no início da unidade 13 e o tempo decorrido até ao final da unidade 12 permitem analisar a estratégia para a unidade 13, utilizando as regiões do gráfico.

Considerando agora os caminhos que na unidade 12 usaram o nível 2, obtém-se o gráfico da Figura 4.14. Note-se que as linhas fronteiras são iguais à figura anterior, pois não existem custos para a mudança de nível de recursos.

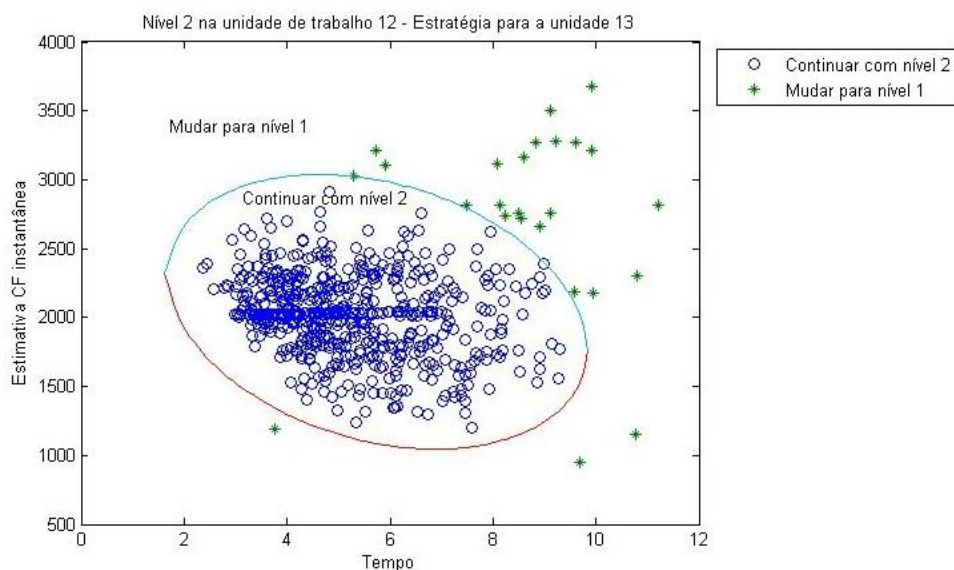


Figura 4.14 - Estratégia para a unidade 13, quando o nível 2 é usado na unidade 12

Vão-se, agora, analisar as alterações no valor atual líquido da tarefa, quando se alteram alguns parâmetros do modelo. Para tal, considere-se o exemplo dado anteriormente. O valor atual líquido no início da tarefa é diferente quando se consideram ou não custos de mudança de nível e quando se considera ou não existência de penalização na estimativa CF da tarefa. A Tabela 4.3 indica o valor atual líquido no início da tarefa, para cada um dos casos.

Custos de mudança	Penalização na estimativa CF da tarefa	Valor atual líquido no início da tarefa
Sim	Sim	1647.7
Não	Sim	1651.1
Não	Não	2249.5
Sim	Não	2240.0

Tabela 4.3 – Valor atual líquido da tarefa considerando a existência ou não de penalização na estimativa CF da tarefa e/ou custos de mudança de nível

O maior aumento no valor atual líquido da tarefa é quando se retira a penalização na estimativa CF da tarefa. Sem penalização, o valor atual líquido da tarefa aumenta muito, como esperado. A existência de custos de mudança, neste exemplo, não influencia muito o valor atual líquido da tarefa. Note-se que esses custos são proporcionais aos restantes e o processo de avaliação evita as mudanças de nível quando esses custos diminuem o valor da tarefa. No entanto, pode acontecer que o valor da tarefa aumente com a mudança de nível, apesar do custo associado. Estas duas situações dependem do valor dos custos de mudança e do valor da estimativa CF instantânea, que depende do tempo de execução das unidades de trabalho.

A partir do mesmo exemplo, analisa-se, agora, o valor atual líquido da tarefa quando se alteram os parâmetros relativos ao nível 2 de recursos, isto é, quando alteramos o valor de $C_0^{(2)}$ e de $\mu^{(2)}$. Para comparar os valores atuais líquidos da tarefa, para cada alteração, considerou-se sempre a existência de penalização da estimativa CF da tarefa e de custos de mudança de nível de recursos.

$\mu^{(2)}$	$C_0^{(2)}$	Valor atual líquido no início da tarefa
3	30	1647.7
6	30	1825.6
3	60	1623.3
6	60	1666.1

Tabela 4.4 – Valor atual líquido da tarefa considerando alterações nos parâmetros do nível 2 de recursos

Quando se aumenta o parâmetro $\mu^{(2)}$ para o dobro (segunda linha da Tabela 4.4), isto é, quando se aumenta o número médio de unidades de trabalho concluídas, por unidade de tempo, o valor atual líquido aumenta (comparação com a primeira linha da Tabela 4.4). Por outro lado, dobrando o valor de $C_0^{(2)}$ (terceira linha da Tabela 4.4), o valor atual líquido da tarefa diminui, mas a diferença não é tão significativa. Note-se que um aumento deste parâmetro leva à definição de outra estratégia, evitando, assim, um decréscimo muito significativo no valor atual líquido da tarefa. Finalmente, quando ambos os parâmetros (quarta linha da Tabela 4.4), $\mu^{(2)}$ e $C_0^{(2)}$, passam para o dobro, o valor atual líquido da tarefa aumenta em relação ao primeiro caso (primeira linha da Tabela 4.4), mas apenas ligeiramente.

4.8 Interpretação e análise dos resultados

Os exemplos numéricos, apresentados na secção anterior, mostram que existem parâmetros no modelo de avaliação que influenciam mais os resultados do que outros. O resultado do procedimento de avaliação fornece a estratégia que maximiza o valor atual líquido esperado para a tarefa. Apesar do resultado da avaliação fornecer o melhor valor atual líquido, verifica-se que certos parâmetros do modelo podem influenciar mais esse valor do que outros. A existência ou não de penalização na estimativa CF da tarefa é exemplo disso mesmo, já que a ausência desta penalização provoca um aumento significativo no valor da tarefa.

Quanto aos custos de mudança de nível, de acordo com os valores admitidos no exemplo, a sua presença faz diminuir o valor da tarefa. No entanto, a variação do valor atual líquido não é muito grande, embora haja uma grande alteração na estratégia utilizada. Verifica-se que a ausência de custos de mudança faz com que existam mais alterações de nível de recursos, na estratégia ótima. Este facto acontece, se não existir nenhum nível dominante ao longo de toda a tarefa, isto é, se não existir nenhum nível de recursos com um custo menor ou igual e uma velocidade de execução maior ou igual aos restantes, sendo uma das desigualdades estrita. Estas conclusões foram tiradas a partir dos valores definidos para os custos de mudança.

Em relação aos parâmetros do tempo e dos custos dos níveis de recurso, verifica-se que uma alteração no parâmetro do tempo influencia mais o valor atual líquido da tarefa do que uma alteração idêntica, em termos relativos, no parâmetro dos custos.

4.9 Desempenho do algoritmo implementado

O algoritmo foi implementado, como se referiu, em MatLab e num computador com processador Celeron(R) Dual-Core CPU, T3500 @ 2.10 GHz 2.09. A memória RAM é de 4.0 GB e o sistema operativo é de 64 bits.

O tempo de execução do procedimento de avaliação depende de vários parâmetros, entre eles: número de caminhos e número de estratégias iniciais; número total de unidades de trabalho que compõe a tarefa; número de níveis de recurso disponíveis; e número médio de unidades de trabalho concluídas, por unidade de tempo, para cada nível de recursos.

Para avaliar o desempenho do algoritmo, foram registados vários tempos de execução, fazendo variar os parâmetros acima referidos. Em baixo, são apresentados os tempos de execução para diferentes variações. Note-se que, independentemente do número de caminhos, as estratégias iniciais foram sempre as mesmas: executar a tarefa com cada nível de recursos; e executar a tarefa com todos os níveis de recurso de forma homogénea, isto é, se existirem N níveis de recursos, executar D/N unidades de trabalho com cada nível de recursos, desde o primeiro ao último.

Teste	Número de caminhos	Número de níveis de recurso	Parâmetros da exponencial	Total de unidades de trabalho (D)	Tempo de execução
1	700	2	$\mu^{(1)} = 1.5;$ $\mu^{(2)} = 3$	40	12 min, 1 seg
2	700	2	$\mu^{(1)} = 1.5;$ $\mu^{(2)} = 6$	40	11 min, 46 seg
3	700	2	$\mu^{(1)} = 3;$ $\mu^{(2)} = 6$	40	10 min, 52 seg
4	700	2	$\mu^{(1)} = 0.75;$ $\mu^{(2)} = 1.5$	40	16 min, 33 seg
5	700	2	$\mu^{(1)} = 0.25;$ $\mu^{(2)} = 0.5$	40	39 min, 32 seg
6	700	2	$\mu^{(1)} = 1.5;$ $\mu^{(2)} = 3$	20	5 min, 1 seg
7	700	2	$\mu^{(1)} = 1.5;$ $\mu^{(2)} = 3$	50	30 min, 14 seg
8	700	2	$\mu^{(1)} = 1.5;$ $\mu^{(2)} = 3$	80	41 min, 31 seg
9	1500	2	$\mu^{(1)} = 1.5;$ $\mu^{(2)} = 3$	40	27 min, 31 seg
10	700	3	$\mu^{(1)} = 1.5;$ $\mu^{(2)} = 3; \mu^{(3)} = 6$	40	24 min, 3 seg
11	1500	3	$\mu^{(1)} = 0.25;$ $\mu^{(2)} = 0.5; \mu^{(3)} = 1$	80	4h, 33min, 56 seg
12	700	4	$\mu^{(1)} = 0.25; \mu^{(2)} = 0.35;$ $\mu^{(3)} = 0.5; \mu^{(4)} = 0.75$	20	33 min, 44 seg

Tabela 4.5 – Tempos de execução do procedimento de avaliação

Os primeiros 3 testes foram alguns dos testes executados anteriormente, na Secção 4.7. Como se pode verificar, os tempos de execução não são muito diferentes. Note-se que as alterações são nos parâmetros das distribuições exponenciais, e essas alterações (que também não são muito significativas) não provocaram alterações muito significativas no tempo de execução. No teste 4, reduziu-se para metade cada um dos parâmetros da distribuição exponencial, isto é, o número médio de unidades de trabalho concluído por unidade de tempo é metade, e o tempo de execução apenas aumentou ligeiramente. No teste 5, reduziu-se para 1/3 os parâmetros da exponencial, relativamente ao teste 4, e o tempo de execução passou apenas para o dobro. Nos testes 6, 7 e 8, alterou-se o número total de unidades de trabalho, mantendo os restantes parâmetros iguais ao teste 1. Note-se que existe um aumento significativo no tempo de execução do procedimento de avaliação, quando o número total de unidades de trabalho aumenta. No teste 9, aumentou-se o número de caminhos, mantendo os restantes parâmetros iguais ao teste 1. Neste caso, existe um aumento significativo do tempo de execução do procedimento. No teste 10, foram considerados 3 níveis de recursos, em que os dois primeiros são iguais aos do teste 1, e o terceiro nível é o mais rápido. A adição de um nível de recursos faz aumentar o tempo de execução. O teste 11 revela que se forem considerados muitos caminhos, um número elevado de unidades de trabalho e parâmetros baixos nas distribuições exponenciais, o tempo de execução aumenta muito significativamente.

Uma das conclusões a tirar é que o tempo de execução é mais influenciado pelo número de unidades de trabalho do que pelos parâmetros das distribuições exponenciais. Vejam-se os resultados dos testes 4 e 8. Os tempos médios de execução da tarefa, para ambos os testes, são os mesmos: mudam o número de unidades de trabalho e os parâmetros definidos para as distribuições exponenciais são diferentes. Verifica-se que o tempo de execução do teste 4 é muito inferior ao do teste 8. Assim, para o procedimento de avaliação ser mais eficiente, o número de unidades de trabalho para executar uma tarefa deve ser definido cautelosamente, pois se este número for muito elevado, o procedimento de avaliação deixa de ser rápido. Veja-se, por fim, o teste 12, onde foram considerados 4 níveis de recurso e 700 caminhos, e compare-se com o teste 8: o teste 12 tem 4 níveis de recurso e os tempos médios de execução da tarefa, para cada nível de recurso, são superiores ou iguais aos tempos médios de execução da tarefa dos dois níveis de recurso do teste 8. No entanto, o tempo de execução do teste 12 é bastante inferior ao do teste 8. A eficiência e rapidez do procedimento apresentado dependem da forma como se definem os parâmetros iniciais. Pelos resultados dos testes, os parâmetros que mais influenciam o tempo de execução do procedimento de avaliação são o número de caminhos considerado e o número total de unidades de trabalho.

Outro tipo de teste que se pode fazer é comparar o valor da tarefa, em relação ao número de caminhos definido inicialmente. Para um determinado número de caminhos, o procedimento foi executado 30 vezes, e foram registados os valores mínimo, médio e máximo obtidos para o valor da tarefa, bem como o seu desvio padrão e tempo médio de execução. Os parâmetros relativos à tarefa são os mesmos apresentados no início da Secção 4.7. A Tabela 4.7 apresenta os resultados obtidos.

Número caminhos	Valor da tarefa (mínimo)	Valor da tarefa (máximo)	Desvio padrão do valor da tarefa	Valor da tarefa (médio)	Tempo médio de execução
50	1482.48	1825.10	88.18	1648.40	55 seg
100	1597.55	1804.62	49.41	1680.10	2 min, 11 seg
500	1603.93	1722.60	29.83	1652.67	10 min, 45 seg
1000	1617.20	1677.89	19.03	1647.14	18 min, 38 seg
1500	1616.50	1689.99	14.85	1644.42	27 min, 15 seg
3000	1624.5	1663.37	9.64	1646.81	60 min, 35 seg

Tabela 4.6 – Tempos médios de execução e valores da tarefa para diferentes números de caminhos

Observando os resultados, repara-se que, em termos de valores médios, as maiores oscilações ocorrem quando se considera o número de caminhos igual ou inferior a 500. O desvio padrão do conjunto de valores da tarefa diminui, significativamente, com o número de caminhos. Este facto leva a concluir que, ao pretender executar o procedimento, apenas uma vez, o número de caminhos influencia a precisão do resultado. Repare-se que, para 3000 caminhos, o desvio padrão do valor da tarefa, nas 30 experiências executadas, foi inferior a 10, quando o valor médio da tarefa é de 1646.81. Para 3000 caminhos, aplicando o procedimento de avaliação apenas uma vez, o valor da tarefa obtido é mais rigoroso do que executando o procedimento apenas uma vez com um número inferior de caminhos. No entanto, para 3000 caminhos, pode considerar-se que o tempo de execução é elevado. Possivelmente,

num computador com características melhores do que as apresentadas no início da Secção 4.9, os tempos de execução serão menores.

O número de caminhos utilizado é muito importante para garantir que o valor da tarefa obtido e a estratégia ótima associada sejam o mais rigorosos possível, quando se executa o procedimento de avaliação, apenas uma vez. Se se pretende apresentar um modelo de avaliação de tarefas de I&D, esse modelo deve estar preparado e implementado de forma a que os seus resultados sejam rigorosos quando se executa o procedimento apenas uma vez.

O tempo de execução do procedimento também é muito importante, pois um procedimento de avaliação não deve ser demasiado demorado, sob pena de se tornar impraticável. O número de caminhos a utilizar é muito importante, mas deve-se conjugar com o tempo de execução, que é totalmente influenciado pelas características do computador. Um computador mais potente permite utilizar este procedimento de avaliação de forma mais eficiente, isto é, considerando um grande número de caminhos, e demorando um tempo de execução razoável.

4.10 Utilização dos resultados

O procedimento de avaliação, aqui apresentado, permite gerir tarefas de I&D. Sabendo os níveis de recurso disponíveis para executar determinada tarefa, a abordagem de avaliação apresentada fornece a estratégia que deve ser seguida para completar essa tarefa. A principal utilidade desta abordagem é ajudar os gestores a perceber qual o nível de recursos que deve iniciar a tarefa. Para além disso, analisando os resultados obtidos, os gestores podem perceber se será útil ou não mudar de nível de recursos ao longo da tarefa. Se as circunstâncias se alterarem, ao longo da execução da tarefa, os gestores podem voltar a utilizar o procedimento de avaliação, considerando que a tarefa que estão a avaliar é uma “subtarefa” da anterior, isto é, o número de unidades de trabalho é menor, já que algumas delas já foram concluídas. Neste caso, os gestores podem decidir sobre o nível de recursos que deve continuar na execução da tarefa.

Considerando que uma ação é constituída por um conjunto de tarefas, esta abordagem de avaliação pode servir de base para analisar a estratégia para executar essa ação, com algumas adaptações: o resultado da avaliação de uma tarefa irá influenciar a avaliação da tarefa seguinte. A interligação entre as tarefas e o modo como essa interligação influencia a avaliação de um projeto terá que ser tida em consideração.

O resultado da avaliação fornece o melhor valor atual líquido esperado para a tarefa, bem como a estratégia correspondente. A avaliação de uma ação, que corresponde à avaliação do conjunto das

tarefas que compõem a ação, permitirá definir um valor atual líquido para a ação. Este valor pode ser considerado como único critério de avaliação. Considerar apenas um critério financeiro para avaliação de uma ação (conjunto de tarefas interligadas) é mais comum em ações do tipo 3, cujos objetivos são venda imediata e realização rápida de lucros financeiros. Nestas situações, este tipo de abordagem de avaliação fornece, de forma mais rigorosa, uma previsão para os valores atuais líquidos esperados, e portanto, um resultado de avaliação mais rigoroso. Esta abordagem de avaliação pode, assim, ser utilizada para perceber qual ou quais as ações com melhor desempenho a nível financeiro. Estes resultados podem servir para selecionar ou priorizar um conjunto de ações, que sejam mais da área de negócio.

Em síntese, este processo de avaliação fornece dois resultados úteis: o valor atual líquido esperado para a tarefa e a estratégia correspondente de execução para obter esse valor. Para a aplicação desta abordagem, é necessária informação que permita a inferência dos parâmetros do modelo e é também necessário saber que níveis de recurso estão disponíveis para alocar à tarefa. Os parâmetros de entrada do modelo de avaliação podem ser inferidos a partir de dados históricos da empresa. A construção desta abordagem foi feita, tendo em conta que seria possível a inferência desses parâmetros. Uma das maiores dificuldades em aplicar modelos de avaliação a projetos reais é, precisamente, o conhecimento dos parâmetros necessários. Além disso, muitos modelos partem de certos pressupostos que são difíceis de se verificarem na realidade. Na abordagem de avaliação apresentada neste capítulo, tentou-se que os pressupostos fossem o mais realistas possível, tendo em conta a empresa considerada, e que os parâmetros necessários pudessem ser inferidos, partindo de dados históricos. Como já foi referido, mesmo na empresa considerada, podem existir tarefas de ações, onde esta abordagem não possa ser aplicada, nomeadamente em ações, cujo projeto a que pertencem seja de natureza mais estratégica. Neste caso, em termos financeiros, basta conhecer um valor financeiro a curto prazo (que é sempre calculado, anualmente, para todas as ações e projetos da empresa). Com este valor, pode aplicar-se a abordagem hierárquica de avaliação, que integra outros subcritérios, a fim de se poder avaliar, priorizar ou selecionar um conjunto de ações ou projetos.

4.11 Conclusões do capítulo

Neste capítulo, foi apresentado um modelo e um procedimento para gerir e/ou avaliar tarefas de projetos de I&D, que podem ser executadas por diferentes níveis de recurso. O objetivo principal do procedimento apresentado é definir a estratégia para executar uma tarefa de I&D, sendo que essa estratégia corresponde àquela que maximiza o valor atual líquido da tarefa. Cada estratégia consiste em definir, em cada instante, qual o nível de recursos a utilizar. Estes níveis de recurso impõem diferentes velocidades médias de execução da tarefa, bem como diferentes custos, por unidade de

tempo. Foram discutidas formas de incorporar, no modelo, o tempo de finalização da tarefa, os custos, a estimativa CF da tarefa e o valor atual líquido da mesma. O procedimento de avaliação apresentado baseia-se num processo de simulação e usa, nas suas funções de regressão, informação observada em cada instante. Foi analisado o efeito das variáveis de estado no valor da tarefa, bem como as alterações no valor atual líquido da tarefa, quando se mudam alguns parâmetros de entrada do modelo. O procedimento de avaliação foi, ele próprio, analisado, bem como o seu desempenho. Foram ainda apresentadas algumas utilizações possíveis para os resultados do procedimento de avaliação,

A abordagem estocástica de avaliação considera apenas um critério, que é financeiro. Assim, para esta abordagem poder ser aplicada, é necessário que os resultados e os custos da tarefa possam ser exprimidos em termos financeiros. Esta abordagem pode ser melhorada e este aperfeiçoamento será feito em trabalho futuro. Um dos aspetos a melhorar será a introdução de uma opção de abandono, quando o valor atual líquido esperado para a tarefa é negativo ou inferior a um determinado valor de referência. Esta opção deve depois ser integrada e interpretada no contexto da ação a que a tarefa pertence e, ainda, no contexto do agregado/projeto que contém essa ação. Outro aspeto que pode ser melhorado é o controlo do tempo de execução, isto é, pode ser introduzida uma variável de controlo que indique se o tempo de execução da tarefa é ou não aceitável. Caso não o seja, os responsáveis devem rever os recursos alocados e decidirem sobre a introdução de outros níveis de recurso para a execução da tarefa.

Considerando que uma ação é um conjunto de tarefas interligadas e, possivelmente dependentes, pretende-se utilizar este modelo de avaliação como base para a avaliação de ações de projetos de I&D. Para tal, é necessário perceber de que forma as tarefas estão interligadas para se proceder à avaliação da respetiva ação. Podem existir precedências na execução das tarefas, isto é, podem existir tarefas que só são iniciadas quando outra(s) estiver(em) concluída(s). O tempo de execução da ação depende do tempo de execução das tarefas, e se uma tarefa se atrasar, pode ser necessária uma realocação de recursos, de forma a que as tarefas seguintes sejam executadas de forma mais célere. Como referido no parágrafo anterior, a opção de abandono também estará presente, quer para as tarefas que compõem a ação, quer para a própria ação, se o desempenho das tarefas não atingir um determinado objetivo.

Capítulo 5

CONCLUSÕES E TRABALHO FUTURO



5. CONCLUSÕES E TRABALHO FUTURO

Uma correta avaliação de projetos de investigação e desenvolvimento (I&D) é muito importante para o sucesso de uma empresa. A avaliação destes projetos permite, aos gestores, compreender os benefícios e os riscos que lhes estão associados. Neste trabalho, pretendeu-se apresentar duas metodologias de natureza diferente para a avaliação de projetos de I&D, numa empresa de telecomunicações.

Apesar de, na literatura, existir uma vasta quantidade de modelos de avaliação, com base em diversas áreas de investigação, é difícil encontrar modelos que se adequem às características e/ou necessidades de uma empresa em particular. Esta foi uma das conclusões tiradas quando se iniciou o processo para a construção de metodologias para avaliar os projetos de I&D da PT Inovação. E, a partir desta evidência, concluiu-se que seria melhor construir as abordagens de raiz e de acordo com a estrutura e política da empresa. A avaliação de projetos de I&D deve ter em conta as características da empresa considerada, de forma a conseguir obter resultados que estejam de acordo com as suas políticas. Os modelos devem ser definidos tendo em conta a informação disponível e/ou a que se consegue inferir. Perante a empresa considerada, foram construídas, então, duas abordagens de avaliação. Estas abordagens de avaliação apoiam-se em pressupostos diferentes e necessitam de informação de natureza diferente.

Em seguida, é apresentado um balanço do que foi feito ao longo da elaboração deste trabalho e da construção de ambas as metodologias:

1. A abordagem hierárquica de avaliação considera um conjunto de critérios para avaliar um projeto (ou uma ação) em particular, ou um conjunto de projetos (ou um conjunto de ações), de forma determinista. Esse conjunto de critérios está disposto numa hierarquia, e existe uma estrutura hierárquica de critérios para avaliar agregados (que são o que, usualmente, se designa por projetos), e outra para avaliar ações de agregados. Cada hierarquia distingue diferentes tipos de agregados e diferentes tipos de ações, sendo que o peso dos critérios, em cada hierarquia, difere, também, com o tipo de agregado ou ação considerado. Na avaliação individual, o elemento em avaliação (agregado ou ação) é comparado com um conjunto de referências. Estas referências são definidas pela gestão de topo da empresa, de forma a serem representativas das características da maioria dos agregados (respetivamente ações). A avaliação de um conjunto de agregados (ações) pode ser feita comparando esse conjunto entre si ou comparando esse conjunto em relação às referências. A utilização das referências é útil quando a comparação direta entre os elementos em avaliação é difícil. Na avaliação de um conjunto de agregados ou ações, o resultado da avaliação prioriza esse conjunto. Essa

priorização pode ser útil na seleção de agregados ou ações, ou na distribuição dos recursos disponíveis. Agregados ou ações com uma avaliação superior terão prioridade maior na satisfação dos recursos necessários.

2. A abordagem estocástica de avaliação apresentada apenas se aplica a uma tarefa de uma ação. Esta abordagem agrega os critérios relevantes apenas num, que é financeiro. Para esta abordagem, as variáveis definidas como relevantes para o valor do projeto foram os custos, o tempo de execução da tarefa e os *cash flows* esperados resultantes da realização da tarefa. O seu comportamento é descrito através de modelos que podem ser estocásticos. Para utilizar esta abordagem, é necessária informação específica sobre custos e benefícios, a fim de os modelos correspondentes poderem ser aplicado. Esses modelos foram construídos, ainda, de forma a que, na empresa considerada, os parâmetros de entrada necessários possam ser inferidos, por exemplo, tendo em conta dados históricos ou o conhecimento dos gestores do projeto (agregado) a que a ação pertence. Podem, no entanto, existir ações, cujos parâmetros não sejam fáceis de inferir, nomeadamente ações mais viradas para a investigação. Considerando ações em que a abordagem estocástica possa ser aplicada, o resultado da avaliação de uma tarefa dessas ações dá a estratégia de execução dessa tarefa, isto é, permite obter regras que indicam o nível de recursos a utilizar, de entre os disponíveis. A estratégia obtida é aquela que se traduz num maior valor atual líquido para a tarefa. Assim, esta abordagem de avaliação pode ser utilizada de duas formas: se se pretendem comparar e/ou avaliar tarefas, uma melhor avaliação corresponde a um maior valor atual líquido; se se pretende executar uma tarefa de forma ótima, esta abordagem indica, então, a estratégia que leva a um maior valor atual líquido.
3. A abordagem estocástica de avaliação está apenas construída para avaliar uma tarefa de uma ação. Como trabalho futuro, está a avaliação do conjunto de tarefas que define uma ação, isto é, pretende-se encontrar a estratégia de execução de uma ação e o respetivo valor atual líquido associado. Se tivermos em conta que a abordagem estocástica de avaliação poderá servir para avaliar uma ação, temos duas abordagens, de natureza diferente, que poderão ser utilizadas para avaliar ações. Como foi dito, a utilização da abordagem estocástica depende do conhecimento dos parâmetros necessários. Caso esses parâmetros sejam conhecidos, a abordagem estocástica de avaliação é mais rigorosa, a nível financeiro. No entanto, mesmo sendo conhecidos os parâmetros para a abordagem estocástica, a abordagem hierárquica pode, também, ser utilizada por parte dos gestores, caso estes considerem que outros critérios, para além do financeiro, sejam necessários na avaliação das ações. Mais, o subcritério financeiro

utilizado na abordagem hierárquica de avaliação para as ações, que corresponde a um valor financeiro previsto a um ano (este valor foi considerado como sendo o VAL), poderá ser obtido a partir da abordagem estocástica de avaliação. Isto é, o valor atual líquido esperado para a ação (que é calculado, a partir da avaliação das tarefas que a integram) pode ser utilizado no subcritério financeiro da abordagem hierárquica. Por outro lado, as duas abordagens poder-se-ão complementar de outra forma: depois de selecionadas ou priorizadas essas ações, e sabendo os níveis de recursos disponíveis, a abordagem estocástica de avaliação pode ser utilizada para encontrar a estratégia de execução de cada uma das tarefas que compõe a(s) ação (ações). No entanto, esta complementaridade entre as duas abordagens terá que ser bem definida, pois a alocação de recursos é feita de forma diferente: enquanto que a abordagem hierárquica a faz de forma rígida e determinista, a abordagem estocástica fá-la de forma flexível, deixando disponíveis os níveis de recursos não alocados.

4. A lógica que foi apresentada, no ponto anterior, para as ações, pode ser utilizada para os projetos, que são constituídos por um conjunto de ações. A abordagem estocástica pode, também, vir a ser utilizada para avaliar projetos. No entanto, esta utilização pode vir a revelar-se, na prática, mais complexa. É necessário conhecer os parâmetros dos modelos associados à abordagem estocástica de avaliação, em todas as ações que compõem o projeto. Mais ainda, é preciso perceber e modelar a interligação e dependência dessas ações: podem existir precedências e no fim de cada ação, o projeto deve ser reavaliado de acordo com os resultados das ações anteriores e com as necessidades futuras. Caso seja possível a sua aplicação, a abordagem estocástica poderá vir a ser utilizada para avaliar os projetos, de acordo com um ponto de vista exclusivamente financeiro. Esta avaliação poderá ser muito útil, se se estiver a considerar um projeto ou conjunto de projetos, cujo principal objetivo seja financeiro. Veja-se, por exemplo, o caso dos agregados do tipo negócio. Para este tipo de agregados (projetos), a aplicação da abordagem estocástica de avaliação poderá ser mais adequada. Se assim for, a abordagem estocástica poderá servir para comparar diferentes projetos, a partir de um valor financeiro esperado para cada projeto, resultante da aplicação dessa abordagem. Como foi referido no caso das ações, caso seja possível aplicar a abordagem estocástica a um projeto, e mesmo assim, os respetivos gestores considerarem importante a inclusão de outros critérios na avaliação, o valor resultante da abordagem estocástica pode ser utilizado no(s) critério(s) financeiro(s) presentes na abordagem hierárquica de avaliação. Por outro lado, e como também foi referido, a abordagem estocástica de avaliação, aplicada às tarefas que compõem cada ação de um projeto, conhecidos os níveis de recursos disponíveis para cada ação, pode ser útil para perceber a estratégia a adotar para a execução do projeto.

Pelas conclusões retiradas atrás, verifica-se que a abordagem estocástica de avaliação pode ser bastante alargada. Para trabalho futuro, esta abordagem de avaliação apresenta-se prioritária. Em primeiro lugar, na construção da melhor estratégia de execução da tarefa, pode ser introduzida a opção de abandono. Esta opção será tomada, se o valor atual líquido da tarefa for inferior a um determinado valor de referência. As consequências desta decisão poderão levar ao abandono da ação correspondente ou mesmo do próprio projeto.

Torna-se, pois necessário, avaliar uma ação através das suas tarefas constituintes. O processo de avaliação será análogo ao apresentado, isto é, a avaliação de uma ação será feita desde a última tarefa até à primeira que a constitui. O objetivo será determinar a estratégia para executar a ação, isto é, a estratégia para executar as tarefas que a compõem. Neste processo, é necessário considerar as interdependências que as tarefas poderão ter entre si. No final de cada tarefa, várias opções podem ser consideradas, tais como abandonar, continuar, expandir ou contrair os recursos alocados para executar as restantes tarefas da ação. Estas decisões podem ser tomadas de acordo com o valor atual líquido esperado para a ação (que é obtido a partir da estratégia de execução) ou através de regras definidas a partir das variáveis de estado.

Depois da abordagem estocástica estar concluída para avaliar uma ação, poder-se-á pensar numa abordagem semelhante para avaliar projetos, considerando que um projeto é um conjunto de ações interdependentes. A construção de tal abordagem pode tornar-se difícil devido à heterogeneidade das ações, às suas interdependências e à dificuldade em estimar os parâmetros necessários para todas as ações. Note-se que para ações do tipo 3, é menos difícil estimar os parâmetros necessários aos modelos do que em ações do tipo 1 ou do tipo 2, onde muitas vezes, os critérios de avaliação considerados não se conseguem exprimir em termos financeiros.

O maior interesse deste trabalho será vê-lo aplicado a ações e/ou projetos reais da empresa considerada. Após a conclusão da abordagem estocástica de avaliação para ações, e como foi experimentado na abordagem hierárquica, será interessante aplicar esta abordagem às ações reais que a empresa considera.

Note-se que na empresa considerada, o planeamento é feito ao nível da ação e anualmente. Assim, após a conclusão do alargamento da abordagem estocástica, e tendo a empresa guardado dados anuais sobre as ações, deverá ser possível aplicar a abordagem estocástica de avaliação a algumas ações, nomeadamente as do tipo 3. Além disso, esta abordagem foi construída a pensar nesta empresa, já que o principal objetivo dos gestores, quando iniciam uma ação, é perceber que recursos devem afetar à ação. Os modelos dos custos e da estimativa CF instantânea foram construídos, pensando na sua aplicabilidade à empresa em questão. Poderá, ainda, ser analisada a ligação que existe entre as ações

que compõem um agregado (projeto). Caso seja possível, poderá vir a existir um sistema de apoio à decisão que ajude os responsáveis a avaliar projetos, utilizando apenas um critério financeiro. Tal como no caso das ações, os gestores podem considerar o resultado de avaliação como critério único, ou podem utilizá-lo como resultado de um critério, numa abordagem multicritério como sendo a abordagem hierárquica apresentada.

A abordagem hierárquica foi já testada e integrada nos sistemas da empresa. No entanto, esta abordagem poderá ser mais explorada, nomeadamente na alocação dos recursos, após a avaliação dos agregados e das ações. Com os elementos da empresa, pode aperfeiçoar-se a implementação da abordagem hierárquica, de forma a integrar um procedimento para a alocação efetiva dos recursos disponíveis.

Em jeito de conclusão, este trabalho poderá ser a base de uma plataforma de avaliação de ações e/ou projetos de I&D para empresas, cuja estrutura e política se assemelhem à empresa considerada durante este estudo. Essa plataforma é de interesse elevado, já que apoia os gestores na tomada de decisões relativas à seleção/priorização de projetos e à distribuição de recursos, que é a principal restrição na maioria das empresas que pensam e desenvolvem novos serviços ou produtos. A plataforma de avaliação pode conter uma ou ambas as abordagens de avaliação, dando a oportunidades aos gestores de avaliarem os seus projetos (e ações) de acordo com os objetivos pretendidos.

Capítulo 6

REFERÊNCIAS



6. REFERÊNCIAS

1. Afonso, R., J. Regalado, P. Godinho, J. Fialho e J. Costa (2008). “AVALORE – Avaliação e Acompanhamento de Projectos de Desenvolvimento de Novas Tecnologias.” *Saber & Fazer Telecomunicações (PT Inovação)*: 144-151.
2. Alonso-Bonis, S., V. Azofra-Palenzuela e G. Fuente-Herrero (2009). “Real option value and random jumps: application of a simulation model.” *Applied Economics* 41: 2977-2989.
3. Álvarez, L., F. Blanco, F. Ruiz e P. Solana (2007). “Valuation of patents and R&D projects using real options: a practical implementation.” *XI Congreso de Ingeniería de Organización*. 35: 125-130. Madrid.
4. Balachandra, R. e J. H. Friar (1997). “Factors for success in R&D projects and new product innovation: a contextual framework.” *IEEE Transactions on Engineering Management* 44(3): 276-287.
5. Bana e Costa, C. e J. Vansnick (1994). “MACBETH - An Interactive Path Towards the Construction of Cardinal Value Functions.” *International Transactions in Operational Research* 1(4): 489-500.
6. Barnett, M. (2008). “An attention-based view of real options reasoning.” *Academy of Management Review* 33(3): 606-628.
7. Barzilai, J. (2005). “Measurement and preference function modelling.” *International Transactions in Operational Research* 12: 173-183.
8. Barzilai, J. e B. Golany (1994). “AHP rank reversal, normalization and aggregation rules.” *Infor - Information Systems and Operational Research* 32(2): 57-64.
9. Barzilai, J. e F. Lootsma (1997). “Power relation and group aggregation in th multiplicative AHP and SMART.” *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis* 6: 155-165.
10. Belton, V. e T. Gear (1983). “On a shortcoming of Saaty’s method of analytic hierarchies.” *Omega* 11(3): 228-230.
11. Belton, V. e T. Gear (1985). “The legitimacy of rank reversal - A comment.” *Omega* 13(3): 143-144.
12. Beynon, M. (2002). “An analysis of distributions of priority values from alternative comparison scales within AHP.” *European Journal of Operational Research* 140: 104-117.
13. Biekpe, N., P. Klumpes e M. Tippett (2001). “Analytic solutions for the value of the option to (dis)invest.” *R&D Management* 31(2): 149-161.
14. Black, F. e M. Scholes (1973). “The Pricing of Options and Corporate Liabilities.” *Journal of Political Economy* 81: 637-659.
15. Bouchard, B. e X. Warin (2011) “Monte-Carlo valorisation of American options: facts and new algorithms to improve existing methods.”, em R. Carmona, P. Del Moral, P. Hu e N. Oudjane (eds): *Numerical Methods in Finance, Springer Proceedings in Mathematics*.

16. Boucher, T. O. e E. L. MacStravic (1991). "Multiattribute Evaluation within a Present Value Framework and its Relation to the Analytic Hierarchy Process." *The Engineering Economist* 37(1): 1-32.
17. Bowman, E. H. e D. Hurry (1993). "Strategy through the option lens: An integrated view of resource investments and the incremental-choice process." *Academy of management Review* 18: 760-782.
18. Brach, M. e D. Paxson (2001). "A gene to Drug Venture: Poisson Options Analysis." *R&D Management* 31(2): 203-214.
19. Brealey, R., S. Myers e F. Allen (2006). "Princípios de Finanças Empresariais.", McGraw Hill, 8/e.
20. Brenner, M. S. (1994). "Practical R&D project prioritization." *Research & Technology Management* 37(5):38-42.
21. Carlsson, C., R. Fullér, M. Heikkilä e P. Majlender (2007). "A fuzzy approach to R&D project portfolio selection." *International Journal of Approximate Reasoning* 44: 93-105.
22. Carr, P. (1988). "The Valuation of Sequential Exchange Opportunities." *The Journal of Finance* 43(5): 1235-1256.
23. Cassimon, D., P. Engelen, L. Thomassen e M. Van Wouwe (2004). "The Valuation of a NDA using a 6-fold compound option." *Research Policy* 33: 41-51.
24. Cassimon, D., P. J. Engelen e V. Yordanov (2011). "Compound real option valuation with phase-specific volatility: A multi-phase mobile payments case study." *Technovation* 31: 240-255.
25. Chan, F., N. Kumar, M. Tiwari, H. Lau. e K. Choy (2008). "Global supplier selection: a fuzzy-AHP approach." *International Journal of Production Research* 46(14): 3825-3857.
26. Charnes, A., W. W. Cooper e E. Rhodes (1978). "Measuring the efficiency of decision making units." *European Journal of Operational Research* 2(6): 429-444.
27. Coldrick, S., P. Longhurstb, P. Ivey e J. Hannis (2005). "An R&D options selection model for investment decisions." *Technovation* 25: 185-193.
28. Copeland, T. e V. Antikarov (2001). "Real Options." Texere, New York.
29. Cortazar, G., E. Schwartz e J. Casassus (2001). "Optimal exploration investments under price and geological-technical uncertainty: a real options model." *R&D Management* 31(2): 181-189.
30. Cortazar, G., M. Gravet e J. Urzua (2008). "The valuation of multidimensional American real options using the LSM simulation method." *Computers & Operations Research* 35: 113-129.
31. Cortelezzi, F. e G. Villani (2009). "Valuation of R&D Sequential Exchange Options Using Monte Carlo Approach." *Computational Economics* 33: 209-236.
32. Cox, J., S. Ross e M. Rubinstein (1979). "Option pricing: a simplified approach." *Journal of Financial Economics* 7: 229-264.
33. Crawford, G. e C. Williams (1985). "A note on the analysis of subjective judgements matrices." *Journal of Mathematical Psychology* 29: 387-405.

-
34. Datar, V. e S. Mathews (2004). "European Real Options: An Intuitive Algorithm for the Black-Scholes Formula." *Journal of Applied Finance* Spring/Summer: 45-51.
 35. Dixit, A. e R. Pindyck (1994). "Investment under uncertainty." Princeton University Press, New Jersey.
 36. Djellal, F., D. Francoz, C. Gallouj, F. Gallouj e Y. Jacquin (2003). "R&D in services." *Science and Public Policy* 30(6): 415-429.
 37. Donegan, H., F. Dodd e T. McMaster (1992). "A new approach to AHP decision-making." *The Statistician* 41: 295-302.
 38. Dong, Y., Y. Xu, H. Li e M. Dai (2008). "A comparative study of the numerical scales and the prioritization methods in AHP." *European Journal of Operational Research* 186: 229-242.
 39. Dyer, J. (1990a). "A clarification of 'remarks on the analytic hierarchy process'." *Management Science* 36: 274-275.
 40. Dyer, J. (1990b). "Remarks on the analytic hierarchy process." *Management Science* 36: 249-258.
 41. Ehie, I.C. e C.O. Benjamin, (1993). "An integrated multiobjective planning model: a case study of the Zambian copper mining industry." *European Journal of Operational Research* 68: 160-172.
 42. Farkas, A. (2007). "The analysis of the principal eigenvector of pairwise comparison matrices." *Acta Polytechnica Hungarica* 4(2).
 43. Farris, J., R. Groesbeck, E. Van Aken e G. Letens (2006). "Evaluating the relative performance of engineering design projects: a case study using data envelopment analysis." *Transactions on Engineering Management* 53(3): 471-482.
 44. Farrukh, C., R. Phaal, D. Probert, M. Gregory e J. Wright (2000). "Developing a process for the relative valuation of R&D programmes." *R&D Management* 30(1): 43-53.
 45. Farzin, Y. H., K. J. M. Huisman e P. M. Kort (1998). "Optimal timing of technology adoption." *Journal of Economic Dynamics and Control* 22: 779-799.
 46. Faulkner, T. (1996). "Applying 'Options Thinking' to R&D Valuation." *R&D Management* 39(3): 50-56.
 47. Fedrizzi, M. e S. Giove (2007). "Incomplete pairwise comparison and consistency optimization." *Journal of Operational Research* 183: 303-313.
 48. Feng, Y. J., H. Lu e K. Bi (2004). "An AHP/DEA method for measurement of the efficiency of R&D management activities in universities." *International Transactions in Operational Research* 11: 181-191.
 49. Fialho, J., P. Godinho, J.P. Costa, R. Afonso e J. Regalado (2008). "A level-based approach to prioritize telecommunications R&D." *Journal of Telecommunications and Information Technology* 4: 40-46.
-

50. Fialho, J., P. Godinho e J.P. Costa (2011). “A Stochastic Model for Managing Tasks of R&D Projects.” em Organizing Committee (eds): Proceedings ASMDA 2011, Roma, Itália, 6-10 junho: 446-452.
51. Fialho, J., P. Godinho e J.P. Costa (submetido1). “A Procedure to manage tasks of R&D projects.”
52. Fialho, J., P. Godinho, J.P. Costa e R. Afonso (submetido2). “Avaliação e acompanhamento de projetos de I&D numa empresa de telecomunicações.”
53. Folta, T. B. e K. D. Miller (2002). “Real options in equity partnerships”. *Strategic Management Journal* 23(1): 77-88.
54. Folta, T. B. e J. P. O’Brien (2004). “Entry in the presence of dueling options.” *Strategic Management Journal* 25(2): 121-138.
55. Foss, N. e E. Roemer (2010). “Real options, resources and transaction costs: advancing the strategic theory of the firm.” *International Journal Strategic Change Management* 2(1): 73-92.
56. Gamba, A. (2003). “Real Options Valuation: A Monte Carlo Approach.” Working Paper Series 2002/03, Faculty of Management, University of Calgary.
57. Geske, R. (1979). “The Valuation of compound options.” *Journal of Finance Economics* 7(1): 63-81.
58. Godinho, P. (2003). “Árvores de Decisão Bicritério em Análise de Projetos.” Tese de Doutoramento, Universidade de Coimbra, Portugal.
59. Godinho, P., J. P. Costa, J. Fialho e R. Afonso (2011). “Some issues about the application of the analytic hierarchy process to R&D project selection.” *Global Business and Economics Review* 13(1): 26-41.
60. Godinho, P., J. Regalado e R. Afonso (2007). “A Model for the Application of Real Options Analysis to R&D Projects in the Telecommunications Sector.” *Global Business And Economics Anthology II*: 414-422.
61. Grenadier, S. e A. Weiss (1997). “Investment in technological innovations: An option pricing approach.” *Journal of Financial Economics* 44: 397-416.
62. Hall, D. L. e A. Nauda (1990). “An interactive approach for selecting R&D projects.” *IEEE Transactions on Engineering Management* 37(2): 126-133.
63. Harker, P. T. (1987). “Incomplete pairwise comparisons in the analytic hierarchy process.” *Mathematical Modelling* 9(11): 837-848.
64. Harker, P. e L. Vargas (1987). “The theory of ratio scale estimation: Saaty’s analytic hierarchy process”. *Management Science* 33: 1383-1403.
65. Harker, P. e L. Vargas (1990). “Reply to ‘Remarks on analytic hierarchy process’.” *Management Science* 36: 269-273.

-
66. Heidenberger, K. e C. Stummer (1999). "Research and development project selection and resource allocation: a review of quantitative modelling approaches." *International Journal of Management Reviews* June 1999: 197-224.
 67. Henriksen, A. e S. Palocsay (2008). "Na Excel-based decision support systems for scoring and ranking proposed R&D projects." *International Journal of Information Technology & Decision Making* 7(3): 529-546.
 68. Henriksen, A. e A. Traynor (1999). "A Practical R&D Project-Selection Scoring Tool." *IEEE Transactions on Engineering Management* 46(2): 158-170.
 69. Ho, W. (2008). "Integrated analytic hierarchy process and its applications – A literature review." *European Journal of Operational Research* 186: 211-228.
 70. Holder, R. (1990). "Some comment on the analytic hierarchy process." *Journal of the Operational Research Society* 41: 1073-1076.
 71. Holder, R. (1991). "Response to holder's comments on the analytic hierarchy process: Response to the response." *Journal of the Operational Research Society* 42: 914-918.
 72. Hotman, E. (2005). "Base reference analytical hierarchy process for engineering process selection" em R. Khosla, R. Howlett e L. Jain (Eds): *Knowledge Based Intelligent Information and Engineering Systemas, Part 1*, 184-190, Springer Verlag.
 73. Hsu, J. e E. Schwartz (2008). "A model of R&D valuation and the design of research incentives." *Insurance: Mathematics and Economics* 43: 350-367.
 74. Huang, C.-C., P.-Y. Chu, et al. (2008). "A fuzzy AHP application in government-sponsored R&D project selection." *Omega* 36(6): 1038-1052.
 75. Huchzermeier, A. e C. H. Loch (2001). "Project Management Under Risk: Using the Real options Approach to Evaluate Flexibility in R&D." *Management Science* 47(1): 85-101.
 76. Huisman, K. e P. Kort (2002). "Strategic technology investment under uncertainty." *OR Spectrum* 24: 79-98.
 77. Huisman, K. e P. Kort (2004). "Strategic technology adoption taking into account future technological improvements: A real options approach." *European Journal of Operational Research* 159: 705-728.
 78. Huisman, K., P. Kort, G. Pawlina, J. Thijssen (2004) "Strategic investment under uncertainty: Merging real options with game theory." *Zeitschrift fur Betriebswirtschaft* 67(3): 97-123.
 79. Inuiguchi, M. e J. Ramik (2000). "Possibilistic linear programming: a brief review of fuzzy mathematical programming and a comparison with stochastic programming in portfolio selection problem." *Fuzzy Sets and Systems* 111(1): 3-28.
 80. Ishizaka, A. e A. Labib (2011). "Review of the main developments in the analytic hierarchy process." *Expert Systems with Applications* 38: 14336-14345.
-

81. Islam, R. e N. Abdullah (2006). "Management decision making by the analytic hierarchy process: a proposed modification for large scale problems." *Journal of International Business and Entrepreneurship Development* 3(1/2): 18-40.
82. Jäggle, A. (1999). "Shareholder value, real options, and innovation in technology-intensive companies." *R&D Management* 29(3): 271-287.
83. Ji, P. e R. Jiang (2003). "Scale transitivity in the AHP." *Journal of the Operational Research Society* 54: 896-905.
84. Jung, U. e D. Seo (2010). "An ANP approach for R&D project evaluation based on interdependencies between research objectives and evaluation criteria." *Decision Support Systems* 49: 335-342.
85. Kablan, M. M. (2004). "Decision support for energy conservation promotion: an analytic hierarchy process approach." *Energy Policy* 32(10): 1151-1158.
86. Kangmao, W., C. K. Wang e H. Chun (2005). "Analytic hierarchy process with fuzzy scoring in evaluating multidisciplinary R&D projects in China." *IEEE Transactions on Engineering Management* 52(1): 119-129.
87. Kahraman, C. e S. Cebi (2009). "A new multi-attribute decision making method: Hierarchical fuzzy axiomatic design." *Expert Systems with Applications* 36: 4848-4861.
88. Kester, W. C. (1993). "Turning growth options into real assets." em R. Aggarwal (ed.): *Capital Budgeting under Uncertainty*, Prentice-Hall: pp 187-207.
89. Kort, P. (1998). "Optimal R&D investments of the firm." *OR Spectrum* 20: 155-164.
90. Kort, P., P. Murto e G. Pawlina (2004). "The Value of Flexibility in Sequencing Growth Investment." Presented at the 8th Annual Conference on Real Options; Theory Meets Practice, Montreal, Canada. URL: <http://www.realoptions.org/papers2004/PawlinaKortMurto.pdf> (último acesso em 14-11-2012).
91. Knight, F. (1921). "Risk, uncertainty and profit." Boston: Houghton Mifflin.
92. Krychowski, C. e B. Quélin (2010). "Real Options and Strategic Investment Decisions: Can They Be of Use to Scholars?" *Academy of Management Perspectives* May: 65-78.
93. Kulak, O. (2005). "A decision support system for fuzzy multi-attribute selection of material handling equipments." *Expert Systems with Applications* 29: 310-319.
94. Kumar, R. (1999). "Understanding DSS Value: An Options Perspective." *OMEGA: The International Journal of Management Science* 27(3): 295-304.
95. Lee, J. e D. Paxson (2001). "Valuation of R&D real American sequential exchange options." *R&D Management* 21(2): 191-201.
96. Liberatore, M. J. (1987). "An extension of the analytic hierarchy process for industrial R&D project selection and resource allocation." *IEEE Transactions on Engineering Management* 34(1): 12-18.

-
97. Lint, O. e E. Pennings (1998). "R&D as an option on market introduction." *R&D Management* 28(4): 279-287.
 98. Lint, O. e E. Pennings (2001). "An option approach to the new product development process: a case study at Philips Electronics." *R&D Management* 31(2): 163-172.
 99. Loch, C. H. e K. Bode-Greuel (2001). "Evaluating growth options as sources of value for pharmaceutical research projects." *R&D Management* 31(2): 231-248.
 100. Longstaff, F. e E. Schwartz (2001). "Valuing American Options by Simulation: A Simple Least-Square Approach." *The Review of Financial Studies* 14: 1113-1147.
 101. Lootsma (1989). "Conflict resolution via pairwise comparison of concessions." *European Journal of Operational Research* 40: 109-116.
 102. Ma, D. e X. Zheng (1991). "9/9-9/1 Scale method of AHP." *Second international symposium on AHP* 1: 197-202. Pittsburgh.
 103. Margrabe, W. (1978). "The Value of an Option to Exchange One Asset for Another." *The Journal of Finance* 33(1): 177-186.
 104. McGrath, R. G., W. J. Ferrier e A. L. Mendelow (2004). "Real options as engines of choice and heterogeneity." *Academy of Management Review* 29(1): 86-101.
 105. Meade, L. e A. Presley (2002). "R&D Project Selection Using the Analytic Network Process." *IEEE Transactions on Engineering Management* 49(1): 59-66.
 106. Mestre, C. (2010). "Avaliação das Oportunidades de Investimento no Âmbito das Opções Reais Aplicadas no Imobiliário." Tese de Mestrado, Universidade Técnica de Lisboa, Portugal.
 107. Miller, L. e C. Park (2002). "Decision Making under Uncertainty – Real Options to the Rescue?" *The Engineering Economist* 47(2): 105-149.
 108. Millet, I. e T. Saaty (2000). "On the relativity of relative measures-accommodating both rank preservation and rank reversals in the AHP." *European Journal of Operational Research* 121: 205-212.
 109. Millet, I. e B. Schoner (2005). "Incorporating negative values into the analytic hierarchy process". *Computers & Operations Research* 32(12): 3163-3173.
 110. Miltersen, K. e E. Schwartz (2004). "R&D Investments with Competitive Interactions." *Review of Finance* 8: 355-401.
 111. Mun, J. (2006). "Real Options and Monte Carlo Simulation versus Traditional DCF Valuation in Layman's Terms." em K. Leggio, D. Bodde e M. Taylor (Eds): *Managing enterprise risk: what the electric industry experience implies for contemporary business*. Elsevier Lda.: 75-106.
 112. Myers, S. C., (1984). "Finance theory and finance strategy." *Interfaces* 14(1): 126-137.
 113. Newton, D., D. Paxson e M. Widdicks (2004). "Real R&D options." *International Journal of Management Reviews* 5/6(2): 113-130.
 114. Nicols, N. (1994). "Scientific management at Merck: an interview with CFO Judy Lewent." *Harvard Business Review* 72: 89-99.
-

115. OECD, Organization for Economic Co-operation and Development (1993). Frascati Manual: “Proposed Standard Practice for Surveys of Research and Experimental Development.” Paris. URL: <http://www.oecd.org/innovation/inno/frascaticmanualproposedstandardpracticeforsurveysonresearchandexperimentaldevelopment6thedition.htm> (último acesso em 21-02-2013)
116. Oral, M., O. Kettani e P. Lang (1991). “A Methodology for Collective evaluation and selection of Industrial R&D Projects.” *Management Science* 37(7): 871-885.
117. Özogul, C., E. Karsak e E. Tolga (2009). “A real options approach for evaluation and justification of a hospital information system.” *The Journal of Systems and Software* 82: 2091-2102.
118. Panayi, S. e L. Trigeorgis (1998). “Multi-stage Real Options: The Cases of Information Technology Infrastructure and International Bank Expansion.” *The Quarterly Review of Economics and Finance* 38(Special): 675-694.
119. Park, J., H. Lee e S. Yoo (2011). “Research on the Follow-up evaluation methodologies of national R&D program evaluation system in Korea.” *Proceedings of Technology Management in the Energy Smart World*, Portland, USA.
120. Paxson, D. (2003). “Genzyme biosurgery: a virtual R&D option case.” em D. Paxson (ed.): *Real R&D Options*. Oxford, Butterworth-Heinemann: 271-290.
121. Pennings, E. e O. Lint (1997). “The option value of advanced R&D.” *European Journal of Operational Research* 103: 83-94.
122. Pennings, E. e L. Sereno (2011). “Evaluating pharmaceutical R&D under technical and economic uncertainty.” *European Journal of Operational Research* 212: 374-385.
123. Perlitz, M., T. Peske e R. Schrank (1999). “Real options valuation: the new frontier in R&D project evaluation?” *R&D Management* 29(3): 255-269.
124. Pindyck, R. (1993). “Investment of uncertain cost.” *Journal of Finance Economics* 34: 63-76.
125. Poh, K., B. W. Ang e F. Bai (2001). “A comparative analysis of R&D project evaluation methods.” *R&D Management* 31(1): 63-75.
126. Poyhonen, M., R. Hämäläinen e A. Salo (1997). “An experiment on the numerical modelling of verbal ratios statements.” *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis* 6: 1-10.
127. Raiffa, H. (1968). “Decision Analysis: Introductory Lectures on Choices Under Uncertainty.” Random House, New York.
128. Ramanathan, R. e L.S. Ganesh (1995a). “Using AHP for resource allocation problems.” *European Journal of Operational Research* 80: 410-417.
129. Ramanathan, R. e L.S. Ganesh (1995b). “Energy Resource Allocation Incorporating Qualitative and Quantitative Criteria: An Integrated Model Using Goal Programming and AHP.” *Socio-Economic Planning Science* 29(3): 197-218.
130. Reisinger, H., K. S. Cravens e N. Tell (2003). “Prioritizing performance measures within the balanced scorecard framework.” *Management International Review* 43(4): 429-437.

-
131. Ribeiro, R., A. Moreira, P. Broek e A. Pimentel (2011). "Hybrid assessment method for software engineering decisions." *Decision Support Systems* 51: 208-219.
 132. Rodrigues, A. e M. Armada (2006). "The Valuation of Real Options with the Least Squares Monte Carlo Simulation Method." Management Research Unit, University of Minho, Portugal, URL: <http://ssrn.com/abstract=887953> (ultimo acesso em 18-02-2013).
 133. Saaty, T. L. (1980). *The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority, Setting Resource Allocation*. New York, McGraw-Hill.
 134. Saaty, T. L. (1986). "Axiomatic foundation of the analytic hierarchy process." *Management Science* 32: 841-855.
 135. Saaty, T. L. (1990a). "An exposition of the AHP in reply to the paper: 'Remarks on the analytic hierarchy process'." *Management Science* 36: 259-268.
 136. Saaty, T. L. (1990b). "How to make a decision: The analytic hierarchy process." *European Journal of Operational Research* 48: 9-26.
 137. Saaty, T. L. (1991). "Response to holder's comments on the analytic hierarchy process." *Journal of the Operational Research Society* 42: 909-929.
 138. Saaty, T. L. (1994a). "Fundamentals of Decision Making and Priority Theory with the Analytic Hierarchy Process.", RWS Publications.
 139. Saaty, T. L. (1994b). "Highlights and critical points in the theory and applications of the analytic hierarchy process." *European Journal of Operational Research* 74: 426-477.
 140. Saaty, T. L. (1996). "The Analytic Network Process.", RWS Publications.
 141. Saaty, T. L. (1997). "That is not the analytic hierarchy process: what the AHP is and what it is not." *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis* 6(6): 324-335.
 142. Saaty, T. L. (2006). "Rank from comparisons and from ratings in the analytic hierarchy/network processes." *European Journal of Operational Research* 168: 557-570.
 143. Saaty, T. L. (2008). "Decision making with the analytic hierarchy process." *International Journal of Services Sciences* 1: 83-98.
 144. Saaty, T. L., e L. Vargas (1984), "Inconsistency and rank preservation", *Journal of Mathematical Psychology* 28/2.
 145. Saaty, T. L. e M. Ozdemir (2003). "Negative priorities in the analytic hierarchy process." *Mathematical and Computer Modelling* 37: 1063-1075.
 146. Saaty, T. L., L. Vargas e K. Dellmann (2003). "The allocation of intangible resources: the analytic hierarchy process and linear programming." *Socio-Economics Planning Sciences* 37: 169-184.
 147. Salo, A. e R. Hämäläinen (1997). "On the measurement of preferences in the analytic hierarchy process." *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis* 6: 309-319.
-

148. Santiago, L. P. e T. G. Bifano (2005). "Management of R&D projects under uncertainty: a multidimensional approach to managerial flexibility." *Engineering Management, IEEE Transactions on* 52(2): 269-280.
149. Santiago, L. e P. Vakili (2005). "On the Value of Flexibility in R&D Projects." *Management Science* 51(8): 1206-1218.
150. Savage, L. J. (1954). "The Foundations of Statistics." John Wiley, New York.
151. Schneider, M., M. Tejada, G. Dondi, F. Herzog, S. Keel e H. Geering (2008). "Making real options work for practitioners: a generic model for valuing R&D projects." *R&D Management* 38(1): 85-106.
152. Schwartz, E. (2004). "Patents and R&D as real options." *Economic Notes* 33: 23-54.
153. Schwartz, E. e M. Moon (2000). "Rational Pricing of Internet Companies." *Financial Analysts Journal* 56(3): 62-75.
154. Schwartz, E. e C. Zozaya-Gorostiza (2000). "Valuation of Information Technology Investments as Real Options." URL: <http://www.escholarship.org/uc/item/4dv270zv> (último acesso em 21-02-2013).
155. Schwartz, E. e C. Zozaya-Gorostiza (2003). "Investment Under Uncertainty in Information Technology: Acquisition and Development Projects." *Management Science* 49(1): 57-70.
156. Shin, C.-O., S.-H. Yoo e S.-J. Kwak (2007). "Applying the analytic hierarchy process to evaluation of the national nuclear R&D projects: The case of Korea." *Progress in Nuclear Energy* 49(5): 375-384.
157. Stam, A. e P. Duarte Silva (2003). "On multiplicative priority rating methods for AHP." *European Journal of Operational Research* 145: 92-108.
158. Stentoft, L. (2004). "Convergence of the Least Squares Monte Carlo Approach to American Option Valuation." *Management Science* 80(9): 1193-1203.
159. Subramanian, N. e R. Ramanathan (2012). "A review of applications of Analytic Hierarchy Process in operations management." *International Journal Production Economics* 138(2): 215-241.
160. Thomke, S. e D. Reinertsen (1998). "Agile Product Development: Managing Development Flexibility in Uncertain Environments." *California Management Review* 41(1): 8-30.
161. Tian, Q., J. Maa, J. Lianga, R. Kwoka e O. Liu (2005). "An organizational decision support system for effective R&D project selection." *Decision Support Systems* 39: 403-413.
162. Topaloglu, S. (2006). "A multi-objective programming model for scheduling emergency medicine residents." *Computers & Industrial Engineering* 51: 375-388.
163. Triantaphyllou, E. (1995). "Linear programming based decomposition approach in evaluating priorities from pairwise comparisons and error analysis." *Journal of optimization Theory and Applications* 84(1): 207-234.

-
164. Triantaphyllou, E. (1999). "Reduction of pairwise comparisons in decision making via a duality approach." *Journal of Multi Criteria Decision Analysis* 8(6): 229-310.
 165. Trigeorgis, L. (1993). "Real Options and Interactions with Financial Flexibility." *Financial Management* 22(3): 202-224.
 166. Trigeorgis, L. (1997). *Real Options: Managerial Flexibility and Strategy in Resource Allocation*. Cambridge MA.
 167. Vargas, L. (1985). "A Rejoinder." *Omega* 13: 249.
 168. Vargas, L. (1997). "Comments on Barzilai and Lootsma why the multiplicative AHP is invalid: A practical counterexample." *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis* 6: 169-170.
 169. Verma, D., A. Mishra e K. Sinha (2011). "The development and application of a process model for R&D project management in a high tech firm: A field study." *Journal of Operations Management* 29(5): 462-476.
 170. Wang, Y. e T. Elhag (2006). "An approach to avoiding rank reversal in AHP." *Decision Support Systems* 42: 1474-1480.
 171. Wang, A. e W. Halal (2010). "Comparison of Real Asset Valuation Models: A Literature Review." *International Journal of Business and Management* 5(5): 14-24.
 172. Wang, J. e W.-L. Hwang (2007). "A fuzzy set approach for R&D portfolio selection using real options valuation model." *Omega* 35: 247-257.
 173. Wang, Y. e Y. Luo (2009). "On rank reversal in decision analysis." *Mathematical and Computer Modelling* 49: 1221-1229.
 174. Wang, Z., S. Zhang e J. Kuang (2010). "A Dynamic MAUT Decision Model for R&D Project Selection." *International Conference on Computing, Control and Industrial Engineering*, China University of Geosciences Wuhan, China.
 175. Whalley, A. (2011). "Optimal R&D investment for a risk-averse entrepreneur." *Journal of Economic Dynamics & Control* 35: 413-429.
 176. Willigers, B. e T. Hansen (2008). "Project valuation in the pharmaceutical industry: a comparison least-squares Monte Carlo real option valuation and conventional approaches." *R&D Management* 38(5): 520-537.
 177. Yeo, K. T. e F. Qiu (2003). "The value of management flexibility - a real option approach to investment evaluation." *International Journal of Project Management* 21: 243-250.
 178. Zeng, H., J. Zhu e Z. Hu (2007). "Details of Project Economics and Decision Analysis." *Marine Technology* 4: 8-12.

**Dissertação de Doutoramento apresentada à Faculdade de Economia da Universidade de
Coimbra, para obtenção do grau de Doutor em Gestão - Ciência Aplicada à Decisão, sob
orientação do Professor Doutor Pedro Manuel Cortesão Godinho e do Professor Doutor João
Paulo Faria Oliveira Costa.**

