



O risco do custo e do tempo no ESCALONAMENTO DE PROJETOS

Andreia Cristina Ferreira Vieira

*Dissertação apresentada ao Instituto Politécnico do Porto para obtenção do Grau de Mestre em
Logística*

Orientada por: Prof. Dr. Pedro Godinho

Porto, Setembro de 2012



O risco do custo e do tempo no ESCALONAMENTO DE PROJETOS

Andreia Cristina Ferreira Vieira

Orientada por: Prof. Dr. Pedro Godinho

Porto, Setembro de 2012

Resumo

A gestão de projetos têm cada vez maior relevância e por isso há uma série de procedimentos a ter em atenção em cada projeto, nomeadamente na fase da programação. Neste trabalho, essa fase será escrutinada pelos vários métodos nela utilizados, particularmente o modelo CPM (*Critical Path Method*) e PERT (*Program Evaluation and Review Technique*).

Todavia, tais modelos apresentam limitações quando aplicados na realidade devido à incerteza sempre patente (tanto em termos de custos, como de tempo). O CPM pressupõe custos e tempos conhecidos à partida, algo que geralmente não se passa em projetos reais. Apesar do PERT já considerar distribuições de probabilidades para a duração das atividades, assume também pressupostos sobre a forma destas distribuições que não se adequam à generalidade dos projetos.

Sendo estes modelos os mais utilizados, há que ter presentes as suas limitações e as consequências destas. É por isso que será feita uma simulação onde serão analisados empiricamente os erros induzidos. Para além das limitações já referidas em relação aos métodos indicados, é ainda necessário ter em consideração que nenhum deles está vocacionado para apoiar decisões relativas à melhor forma de executar as diferentes tarefas, especialmente na presença de incerteza.

Será apresentada (teoricamente) uma sugestão de modelo alternativo com capacidade para incorporar a incerteza nos custos e tempos esperados de um projeto e determinar as decisões ótimas a tomar relativamente à escolha do modo de execução das tarefas. Esse modelo multimodo, estocástico e dinâmico considerará que cada tarefa pode ser executada de diferentes modos. As decisões serão tomadas tendo em conta o momento do projeto em que nos encontramos.

As principais conclusões obtidas foram que a escolha de uma correta distribuição na gestão de projetos é fundamental, não se pode ignorar a variância das atividades fora do caminho crítico e os modelos deterministas fornecem resultados muitas vezes erróneos.

Palavras-chave: gestão de projetos, decisão em situação de incerteza, caminho crítico, compromisso tempo/custo.

Resumen

La gestión de proyectos tiene cada vez más relevancia y por eso hay un conjunto de procedimientos que hay que tener en cuenta en cada uno de los proyectos, nombradamente en la fase de la programación. En este trabajo, esa fase será escrutada por los varios métodos en ella utilizados, en particular el modelo CPM (*Critical Path Method*) y PERT (*Program Evaluation and Review Technique*).

Sin embargo, tales modelos presentan limitaciones cuando aplicados a la realidad debido a la incertidumbre siempre existente (tanto en términos de los costos, como de tiempo). El CPM como lo sabemos supone costos y tiempos conocidos desde el inicio, y eso es algo que no ocurre en la realidad. Aunque el PERT ya considere probabilidades distintas, asume también suposiciones sobre la forma de distribución de probabilidades que no se adecuan a la generalidad de los proyectos.

Siendo estos modelos los más utilizados, hay que tener en cuenta sus limitaciones y, a la vez, sus consecuencias. Por ello, se hará una simulación donde serán analizados empíricamente los errores inducidos. Además de las limitaciones ya referidas con relación a los métodos indicados, es necesario todavía, tener en cuenta que ninguno de ellos está direccionado para apoyar decisiones relativas a la mejor forma de ejecutar las diferentes tareas, especialmente cuando existe la incertidumbre.

Será presentada (en teoría) una sugerencia de modelo alternativo con capacidad para incorporar la incertidumbre de los costos y tiempos ya esperados de un proyecto y determinar las decisiones óptimas a tomar con relación a la elección del modo de ejecución de las tareas. Ese modelo multimodo, estocástico y dinámico considerará que cada tarea puede ser ejecutada de diferentes modos, y la elección del modo tiene consecuencias en el tiempo y el costo de la ejecución de las tareas. Las decisiones se tomarán teniendo en cuenta el momento del proyecto en que nos encontramos.

Las principales conclusiones fueron que la elección de una distribución correcta en la gestión de proyectos es fundamental, no podemos ignorar la variación de las actividades fuera de la ruta crítica y los modelos deterministas a veces ofrecen resultados incorrectos.

Palabras-clave: gestión de proyectos, decisión en condiciones de incertidumbre, ruta crítica, compromiso de tiempo/costo.

Abstract

Project management has become increasingly important and so there are several procedures to be taken into account in each project, especially in the programming phase. In the present work, this phase will be scrutinized by the various methods used in it, particularly the CPM (Critical Path Method) and PERT (Program Evaluation and Review Technique) models.

However, these models have limitations when applied to real projects, due to the uncertainty that always exists (in terms of costs and time). In the CPM, costs and durations are assumed to be known at the outset, something that usually doesn't happen in real projects. Although PERT considers probability distributions for the duration of activities, it also assumes distributions that don't conform to most projects.

Since these models are the most widely used, one must take into account their limitations and consequences of these. That's why some simulations will be performed in order to analyze empirically the errors induced by the models' assumptions. In addition to the aforementioned limitations in the methods indicated, it's still necessary to consider that none of them is devoted to support decisions on the best way to perform different tasks, especially in the presence of uncertainty.

An alternative model will also be presented (in theory), with the ability to incorporate uncertainty in the costs and expected time of a project, and determine the optimal decisions to be made regarding the choice of the mode of execution of tasks. This multimode model, stochastic and dynamic, considers that each task can be performed in different ways. Decisions will be made taking into account the time of the project in which we are.

The main conclusions were that the choice of a correct distribution in project management is critical, we cannot ignore the variance of activities outside the critical path and deterministic models often provide erroneous results.

Keywords: project management, decision under uncertainty, critical path, time / cost trade-off.

*Dedico a presente dissertação,
Aos meus pais por todo o esforço que fizeram para eu chegar até aqui,
Aos meus amigos,
Colegas da Universidade de Coimbra (nomeadamente da FEUC e da FCTUC-DEI),
Colegas do Instituto Politécnico do Porto (ISCAP)
pela paciência que têm e, por todos os momentos e apoio que me proporcionaram.*

“What doesn’t kill us makes us stronger.”

(Friedrich Nietzsche)

Agradecimentos

Venho por este meio agradecer...

... à minha família, nomeadamente à minha avó por sempre ter sido o meu pilar de apoio ao longo da minha vida até aqui, sem esquecer a minha irmã;

... aos meus amigos não só pela amizade, mas também por toda a atenção e apoio incondicional;

... a todos aqueles que contribuíram para a minha formação académica, em particular, ao Prof. Dr. Guilherme Vieira por tudo o que me ensinou e por me ter feito crescer e acreditar e ao Prof. Dr. Pedro Godinho pela disponibilidade para orientar esta dissertação, por todas as recomendações e por toda a paciência e compreensão que teve;

... a todos aqueles que contribuíram para o meu desenvolvimento e inserção ao nível profissional, nomeadamente a toda a equipa da ID4 Software – Sistemas de Informação, Lda. com quem partilhei os últimos meses;

...a todos aqueles que, mesmo não mencionados, contribuíram (in)diretamente para o desenvolvimento deste trabalho.

“O valor das coisas não está no tempo em que elas duram, mas na intensidade com que acontecem. Por isso, existem momentos inesquecíveis, coisas inexplicáveis e pessoas incomparáveis.”

(Fernando Pessoa)

Muito obrigada a todos!

Lista de abreviaturas e siglas

AnA	Atividades nos Arcos
AnN	Atividades nos Nodos
CPM	<i>Critical Path Method</i>
DEI	Departamento de Engenharia Informática
EF	<i>Earliest Finish</i>
ES	<i>Earliest Start</i>
FCTUC	Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade de Coimbra
FEUC	Faculdade de Economia da Universidade de Coimbra
IIE	<i>Institute of Industrial Engineers</i>
ISCAP	Instituto Superior de Contabilidade e Administração do Porto
LF	<i>Latest Finish</i>
LS	<i>Latest Start</i>
Max	Máximo
Min	Mínimo
PERT	<i>Program Evaluation and Review Technique</i>
WBS	<i>Work Breakdown Structure</i>

Índice Geral

Resumo.....	iv
Resúmen.....	v
Abstract.....	vi
Dedicatória.....	vii
Agradecimentos.....	viii
Lista de abreviaturas e siglas.....	ix
Índice Geral.....	x
Índice de figuras.....	xi
Índice de tabelas.....	xii
Índice de anexos.....	xiii
I. Introdução.....	1
II. O processo de gestão de projetos.....	3
II.1 – Definição de projeto.....	3
II.2 – Gestão de projetos.....	4
II.3 – Fases do processo da gestão de projetos.....	5
II.4 – Representação de projetos através de redes.....	9
III. Revisão bibliográfica sobre modelos de escalonamento de projetos.....	13
III.1 – Métodos Tradicionais.....	13
III.1.1 – CPM.....	14
III.1.2 – PERT.....	19
III.1.3 – Análise crítica aos modelos tradicionais.....	21
III.2 – Modelos estocásticos multimodo.....	24
IV. Análise aos Pressupostos dos Métodos Clássicos.....	29
IV.1 – Objetivos da análise.....	29
IV.2 – Projetos considerados e implementação dos modelos.....	29
IV.3 – Impacto dos pressupostos dos modelos tradicionais.....	34
IV.3.1 – Pressuposto da duração determinista das tarefas.....	34
IV.3.2 – Pressuposto de só ser relevante incerteza no caminho crítico.....	35
IV.3.3 – Pressuposto de distribuição betapert das durações.....	36
V. Conclusões.....	39
Referências bibliográficas.....	41
Anexos.....	43

Índice de figuras

Figura 1 - Fases de Gestão de Projetos.....	5
Figura 2 - Exemplo de WBS.....	6
Figura 3 - Exemplo de Gráfico de Gantt	8
Figura 4 - Rede AnN e Rede AnA.....	10
Figura 5 - Rede AnA (projeto 3) e Rede AnN (em construção).....	11
Figura 6 - Rede AnN (projeto 3)	11
Figura 7 - Rede AnN (projeto 3) com tempos	17

Índice de tabelas

Tabela 1 - Resultados das simulações feitas com vista a analisar o impacto do pressuposto da duração determinista das tarefas	34
Tabela 2 - Resultados da aplicação do modelo PERT e simulação feitos com vista ao pressuposto de só ser relevante incerteza no caminho crítico	36
Tabela 3 - Resultados das simulações feitas com vista ao pressuposto de distribuição betapert das durações.....	37

Índice de anexos

Anexo I - Dados de projetos em análise	45
Anexo II - Conversão de redes	47
Anexo III – Cálculos: Método CPM.....	52
Anexo IV – Cálculos: Modelo PERT	58
Anexo V – Cálculos: Simulação de Monte Carlo com distribuição betapert simétrica	64
Anexo VI – Cálculos: Simulação de Monte Carlo com distribuição betapert que pretende aproximar a média e a variância da exponencial.....	70
Anexo VII – Cálculos: Simulação de Monte Carlo com distribuição exponencial	76
Anexo VIII - Resumo de resultados da análise ao pressuposto da duração determinista das tarefas.....	82
Anexo IX - Resumo de resultados da análise ao pressuposto de só ser relevante incerteza no caminho crítico.....	84
Anexo X - Resumo de resultados da análise ao pressuposto de distribuição betapert das durações.....	85

I. Introdução

O presente tema foi escolhido devido ao incremento da importância da gestão de projetos. Torna-se pertinente analisar o risco do custo e do tempo no escalonamento de projetos pois, muitas vezes, é nesses âmbitos que a gestão de projetos nem sempre está de acordo com o que acaba por acontecer na realidade, levando a custos e tempos não planeados. Assim sendo, é necessário o estudo de novos modelos de escalonamento de projetos mais aplicáveis à realidade e com resultados mais fiáveis.

Ao longo do próximo capítulo é feita uma pequena abordagem ao processo de gestão de projetos. Como se sabe da bibliografia, as principais etapas da gestão de projetos são o Planeamento, Programação e Controlo. Esta dissertação, como já referido no resumo, concentra-se principalmente na segunda fase – a programação.

No capítulo III serão apresentados os métodos tradicionais normalmente utilizados no escalonamento de projetos (CPM e PERT). No entanto, os pressupostos assumidos por estes métodos nem sempre facilitam a sua aplicação à realidade, nomeadamente o facto de ambos assumirem que existe apenas um modo de execução das tarefas. Nesse sentido, se constata a necessidade de recorrer a modelos mais sofisticados. Então, ainda nesse capítulo, é feita uma abordagem aos modelos estocásticos multimodo tendo em vista apresentar um modelo alternativo, existente na literatura, que responda a algumas das críticas feitas aos pressupostos considerados pelos modelos tradicionais, também essas expostas nesse capítulo. Esse modelo pretende ultrapassar a limitação de apenas se considerar uma forma de executar as tarefas, com implicações diferentes no seu tempo e no seu custo. Esse modelo alternativo pressupõe que existem vários modos de execução das tarefas e que as decisões serão tomadas considerando o progresso atual do projeto.

Devido a outros pressupostos assumidos nos métodos tradicionais, designadamente a utilização de valores esperados e consideração apenas das atividades constantes do caminho crítico, interessa conhecer as suas consequências. Para isso, foram definidos três objetivos, que são concretizados ao longo do capítulo IV. Esses objetivos são: analisar o impacto da utilização de valores esperados, ao invés da utilização de distribuições de probabilidade – isto é, analisar os erros em que se incorre por assumir uma duração determinista das tarefas; analisar o impacto de se focar a atenção apenas nas atividades do caminho crítico; e, por fim, analisar o impacto da adoção da distribuição beta utilizada pelo PERT como aproximação para a distribuição de probabilidades das atividades, quando a verdadeira distribuição é outra.

Para atingir esses objetivos são concretizadas uma série de análises com recurso à aplicação, sobre dez projetos, dos modelos tradicionais e a simulações de Monte Carlo. Como se constata pelos resultados obtidos, esses pressupostos muitas vezes levam a discrepâncias significativas ao nível da duração e do custo dos projetos.

Finalmente, no capítulo V são expostas as principais conclusões obtidas ao longo da concretização do presente trabalho.

II. O processo de gestão de projetos

II.1 – Definição de projeto

Desde muito cedo (séc. XVI) se começou a usar o termo “projeto”. Palavra oriunda do latim *projicere*, que tinha como significado “lançar para a frente”, sugere desde logo movimento e uma relação com tempo e espaço (Abrignani, Gomes, & Vilder, 2000). Mas, o primeiro grande projeto, se for considerado como tal, remonta do ano 2650 a.C., ou seja, a construção das tão famosas pirâmides do Egito (Tereso, 2002). Hoje em dia, trata-se de uma palavra cujo significado é mais subjetivo, havendo contudo uma definição globalmente aceite:

“Projeto - processo único, compreendendo um conjunto de atividades coordenadas e controladas com datas de início e término, realizado para alcançar um objetivo conforme requisitos específicos, incluindo limitações de tempo, custo e recursos.” in ISO 8402 de 1990, fide (Demeulemeester & Herroelen, 2002)

Sucintamente, um projeto é entendido como um empreendimento, por outras palavras, um aglomerado de alterações administradas com lógica e determinadas a alcançar metas bem definidas (Tavares, Oliveira, Themido, & Correia, 1996). Subentende-se que um projeto é um processo único (realizado só uma vez e que gera algo - produto ou serviço - diferente), visto como um todo (unidade), com determinados objetivos a alcançar. Para os alcançar, é definido um conjunto de tarefas interdependentes a executar tendo em vista esses objetivos/*outputs* comuns. Todavia, tem como problemática a limitação de tempo e custo dos recursos (humanos, materiais e financeiros) a alocar às várias tarefas e do tempo disponível para a sua concretização. Uma vez que tem o seu início e fim definidos a priori (é dado como concluído quando os objetivos são alcançados), um projeto é caracterizado pela sua índole temporária tendo, portanto, a sua duração restrita e implicando a utilização unificada dos recursos. Um projeto pode coexistir com outros e proporcionar a colaboração entre vários departamentos. Como é natural, inerente ao grau de incerteza existente em todos os projetos, existe sempre algum risco devido à performance dos recursos, à incapacidade de prever satisfatoriamente e ao facto dos dados nem sempre serem os mais corretos ou adequados, entre outros. Por todas estas características podemos constatar a complexidade patente na gestão de um qualquer projeto (Tereso, 2002 e Heizer & Render, 2006).

Podemos acrescentar ainda que: o objetivo de um projeto deve exprimir-se através de metas e indicações claras/precisas; a definição das ações que constituem o projeto é feita através de uma seleção na qual se escolhe aquela que for tida como a mais vantajosa de entre as diversas alternativas (para atingir o fim pretendido) devido às garantias que dá de ter êxito; a análise de requisitos de cada alternativa ao nível dos recursos necessários é um processo complicado devido à diversidade de ações que podem constituir esse projeto e a variedade de tais recursos (tempo, recursos humanos, meios financeiros, equipamentos,...) (Tavares *et al.*, 1996).

II.2 – Gestão de projetos

A gestão de projetos visa a coordenação dos vários tipos de recursos a empregar em equipas que têm por objetivo alcançar as metas previamente estipuladas, assim como a organização e gestão das suas atividades conforme os critérios de qualidade, eficácia e eficiência (Tavares *et al.*, 1996).

Um gestor de projeto orienta as atividades do projeto com os outros departamentos e coordena com o gestor de topo. Deve certificar-se que todas as atividades são concluídas na ordem e nos prazos estabelecidos, cumprindo o orçamento. Para além disso, deve averiguar se os objetivos de qualidade são alcançados e garantir que os recursos humanos ligados ao projeto acolhem a motivação, a direção e a informação indispensáveis ao desempenho do seu trabalho. Por outras palavras, podemos então dizer que incumbe a este garantir que há uma utilização de recursos eficaz e eficiente (Heizer & Render, 2006).

As ações de gestão de um projeto dependem da fase do ciclo de vida em que se encontra. Esse ciclo de vida inclui diversas fases, entre as quais se destacam: o **planeamento**, a **programação** e o **controlo**. Na primeira é onde se define o projeto e os seus objetivos, se elabora a listagem das atividades para a execução do mesmo e se determina os vários recursos a serem utilizados. Na **programação** define-se como os recursos se relacionam com as atividades específicas, como essas se relacionam entre si bem como a duração de cada uma. Por último, a fase do **controlo** monitoriza recursos, custos, qualidade e orçamentos, e faz a revisão dos planos e a realocação dos recursos para cumprir os prazos e os custos acordados.

Todavia, foca-se, fundamentalmente, na diferença existente entre o que foi programado e a performance atual desde o início do projeto – a análise e correção dessa diferença constituem o aspeto básico desta fase (Demeulemeester & Herroelen, 2002 e Heizer & Render, 2006).



Figura 1 - Fases de Gestão de Projetos

II.3 – Fases do processo da gestão de projetos

Na presente secção serão detalhadas cada uma das três fases consideradas na gestão de projetos.

- **Planeamento:**

Muito antes de se iniciar a execução de um projeto, a equipa de projeto começa os seus trabalhos. Numa primeira fase tem de se definir o projeto em si e estabelecer de forma clara e mensurável os objetivos (Heizer & Render, 2006). Por forma a minorar as dificuldades que a complexidade existente na generalidade dos projetos causa ao seu planeamento e controlo, aplica-se o *Work Breakdown Structure* (WBS). Este processo consiste em dividir sucessivamente o projeto em partes e, posteriormente subdividir essas partes em partes cada vez mais simples. A divisão estende-se até que as partes obtidas sejam mais acessíveis à gestão, tanto para o planeamento como para o controlo (Demeulemeester & Herroelen, 2002). Todavia, é necessário o bom senso para que a divisão também não se torne demasiado extensa pois, uma

maior decomposição, tornará a rede de atividades mais complexa, o que dificultará o seu estudo e entendimento (Tavares *et al.*, 1996). As subpartes do último nível considerado são usualmente denominadas por *work packages* e correspondem às atividades do projeto (Heizer & Render, 2006). Aquando da divisão deve-se ter em consideração que as subpartes devem agregar todo o trabalho definido na parte da qual descendem e, que devem ser mutuamente exclusivas (não devem sobrepor-se) (Demeulemeester & Herroelen, 2002). O WBS pode ser representado numa estrutura em árvore, como é visível no exemplo seguinte.

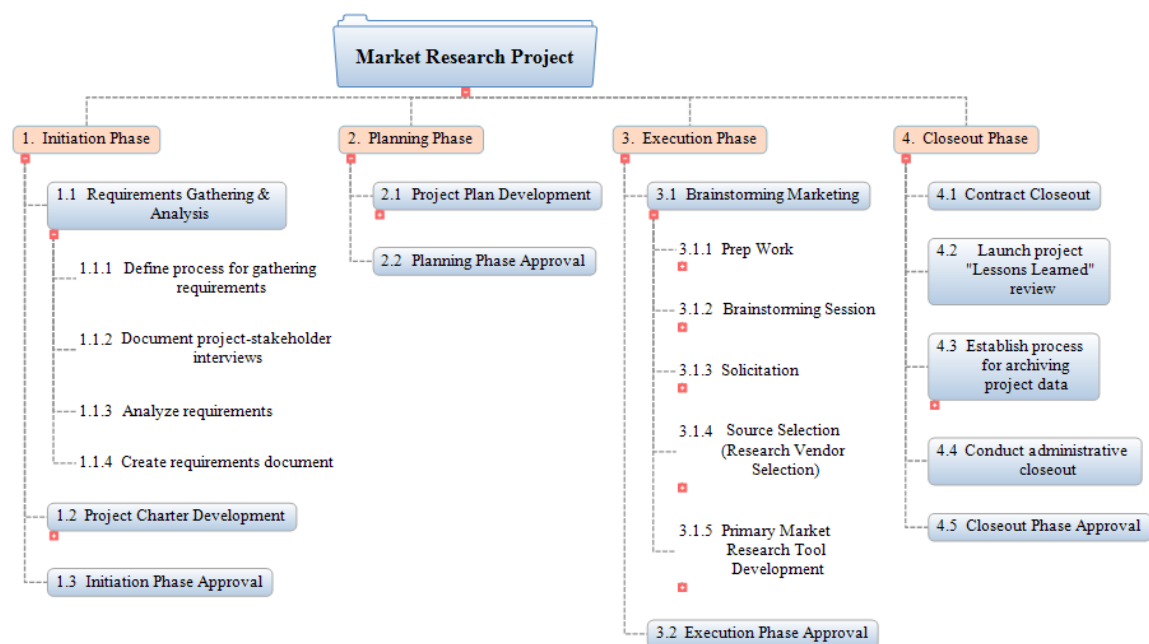


Figura 2 - Exemplo de WBS (fonte: workbreakdownstructure.com)

Depois de definidas as atividades do projeto, determinam-se os recursos necessários (bem como as suas quantidades) e o tempo necessário para completar cada atividade. Na impossibilidade de se saber com certeza esses dados, terão de ser realizadas previsões (não esqueçamos que tem de se vislumbrar o desenvolvimento do projeto antes da sua concretização tentando descobrir as incompatibilidades e dificuldades). É importante é que estas estimativas sejam o mais realistas possíveis, até porque a qualidade do planeamento depende em larga medida da qualidade das estimativas. De salientar ainda que existe quase sempre um compromisso entre a duração de cada tarefa e o nível ou quantidade de recursos empregues na realização da mesma. É normal então que se proceda a iterações até se encontrar uma solução equilibrada.

- **Programação:**

Esta etapa corresponde, inicialmente, à identificação das relações de precedência, alocação de recursos e sequenciamento das atividades. As inter-relações são manifestadas por relações de precedência determinadas por causas de caráter político, legal, físico, prático, ... (Tavares *et al.*, 1996). Depois disso poderá ser efetuada uma representação gráfica da rede do projeto que mostrará de forma clara as interdependências das atividades.

Diversos métodos têm vindo a ser criados/explorados com o objetivo de auxiliar a programação de projetos, tendo as suas faculdades dependentes de múltiplos fatores, nomeadamente: o contexto, a especificidade e a complexidade do projeto, bem como as metas e limitações a considerar (Tavares *et al.*, 1996). Exemplos dessas metodologias são o Método do Caminho Crítico, vulgo CPM, e o PERT (que são hoje das mais conhecidas e utilizadas). A presente dissertação incide sobre a análise destes métodos. Estas técnicas permitem determinar as atividades críticas do projeto, calcular a duração esperada do projeto e o respetivo custo, e estimar as necessidades de trabalhadores e materiais (Heizer & Render, 2006).

Para representar o escalonamento das atividades podem ser utilizados os Gráficos de *Gantt* (ver exemplo na Figura 3). Estes gráficos usam barras horizontais para representar o período de tempo em que decorre cada atividade e mostram a utilização dos recursos. São também usados para representar os tempos de carga e vazio dos postos de trabalho e podem servir para monitorizar os trabalhos em curso. Todavia, estes gráficos não evidenciam as relações de interdependência entre as atividades. Em projetos mais complexos recorre-se a outras técnicas já referidas e que serão exploradas mais à frente (Heizer & Render, 2006).

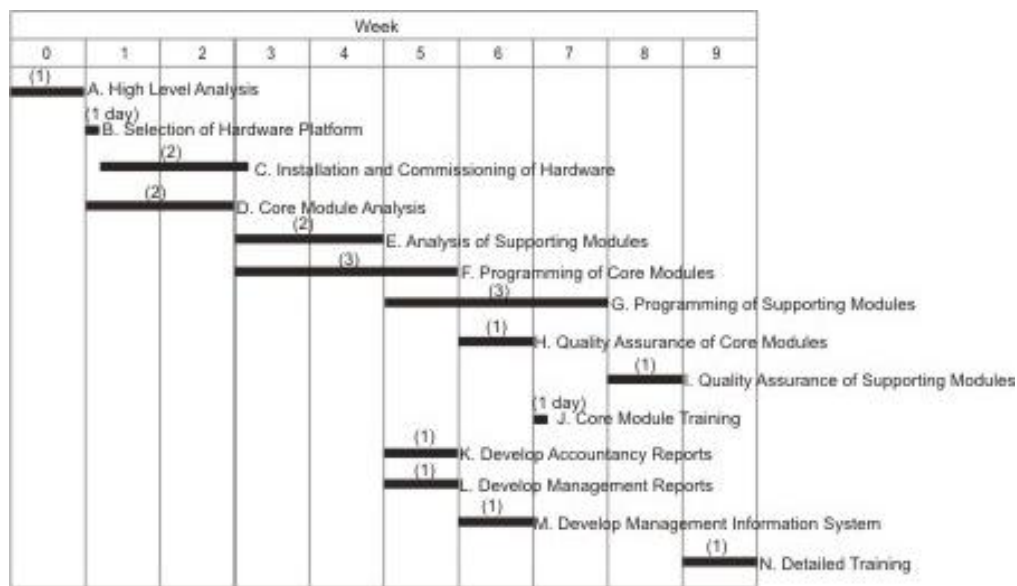


Figura 3 - Exemplo de Gráfico de Gantt (fonte: mindtools.com)

- **Controlo:**

Assim que se inicia o projeto, existe a necessidade de monitorizar o seu progresso. Tal monitorização envolve a difícil tarefa de medir o progresso real e confrontar com o progresso planeado (Demeulemeester & Herroelen, 2002).

O facto de existir um planeamento cauteloso não implica que tudo se realize dentro do prazo. Os imprevistos são geradores de desvios comparativamente ao programa inicial (planeamento). Daí provém a relevância de manter a concretização do programa sob controlo para que seja possível agir atempadamente sempre que tais desvios possam vir a comprometer as metas do projeto (Tavares *et al.*, 1996).

Esta fase envolve a apertada monitorização dos recursos, dos custos, da qualidade e dos orçamentos; a revisão dos planos e a transferência de recursos para onde sejam mais necessários; e a elaboração de uma variedade de relatórios. Todavia, para que a monitorização possa existir terão de haver mecanismos que avaliem o estado de avanço dos trabalhos em curso (Heizer & Render, 2006). Caso seja identificada a presença de desvios em relação ao planeado (violações de orçamento, especificações, técnicas originais,...), há que avaliar as consequências destes e, se for necessário, promover a revisão do programa ajustando-o às

novas circunstâncias, por forma a minorar os afastamentos dos resultados globais alcançados no tempo, no espaço dos recursos e no espaço dos resultados entre o previsto e o obtido (Tavares *et al.*, 1996).

Vulgarmente são utilizadas duas técnicas (já referidas) para proceder à programação e controlo de um projeto: o CPM e o PERT. Ambos esses modelos respondem a um conjunto de questões – quando é que o projeto termina, quais as atividades críticas, o projeto está atrasado ou adiantado?, ... (Heizer & Render, 2006)

Um projeto bem-sucedido é aquele que findou dentro do tempo e orçamento estipulados e de acordo com as especificações definidas. E, notoriamente, que quanto mais rigoroso e apertado seja o controlo, maiores são as possibilidades de atuar corretivamente sobre o curso dos acontecimentos. Entre as propriedades desejáveis de um sistema de observação e controlo do avanço dos trabalhos podem citar-se: importância da informação a recolher, rigor apropriado e exatidão das medições de controlo, frequência adequada das observações e racionalização dos circuitos e das ferramentas de processamento da informação. Uma vez recolhida e processada a informação sobre o progresso dos trabalhos há que confrontar esta com o que estava previsto na programação atualizada do projeto (Tavares *et al.*, 1996).

Algumas das ferramentas informáticas mais utilizadas em gestão de projetos são: Primavera, MacProject, Pertmaster, VisiSchedule, TimeLine, MS Project (Heizer & Render, 2006). Um estudo efetuado, em Junho 1998, pela IIE Solutions, revelou que 80% dos entrevistados usam algum tipo de *software* de gestão de projetos. Relativamente às funcionalidades desses programas informáticos, a esmagadora maioria respondeu que as capacidades que consideram mais importantes são a monitorização dos projetos (1.º), a análise de tempo (2.º) e a análise dos custos (3.º) (Demeulemeester & Herroelen, 2002).

II.4 – Representação de projetos através de redes

Existem duas convenções principais para a representação de projetos, a saber: as Redes com Atividades nos Arcos (AnA) e as Redes com Atividades nos Nodos (AnN) – figura 4. O que difere entre elas é que no tipo de Rede AnA os nodos representam o início e fim das

atividades (ditos eventos) e as atividades encontram-se nos arcos. Ora, se os nodos deste tipo de rede não são atividades, não consomem tempo nem recursos. Por sua vez, em redes do tipo AnN as atividades estão presentes nos nodos e as relações de precedência são representadas através de arcos (Heizer & Render, 2006). De salientar que, em ambas as convenções, os nodos podem ser representados de diversas formas (círculos, retângulos,...) contudo, o mais comum é verem-se representados por meio de círculos.

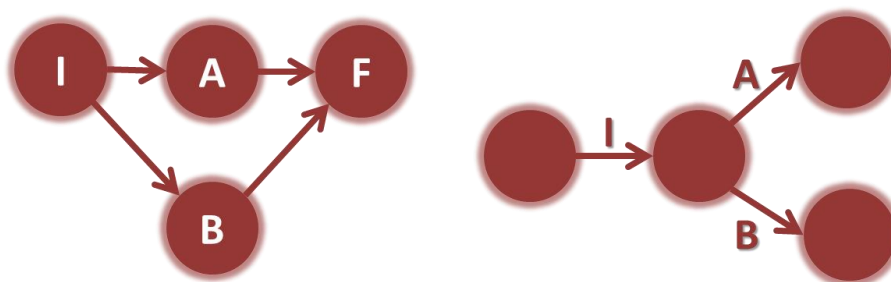


Figura 4 - Rede AnN (à esquerda) e Rede AnA (à direita)

Para qualquer uma das convenções é necessário, por vezes, a inserção de atividades fictícias (*dummy*) que não consomem nem tempo nem recursos. No tipo de representação AnA, inserem-se atividades *dummy* para impedir que dois nodos sejam ligados por mais do que uma atividade, para satisfazer a condição de que apenas existe um nodo inicial e um final e, para que a representação de todas as relações de precedência seja feita de forma íntegra. Nas redes do tipo AnN apenas se aplicam *dummies* para garantir a existência de apenas um nodo inicial e outro final (Demeulemeester & Herroelen, 2002).

O tipo de representação adotada para a presente dissertação será rede AnN uma vez que, os programas informáticos mais conhecidos (por exemplo, *Microsoft Project*) utilizam esse tipo de rede. A escolha do tipo de rede a utilizar, por norma, é feita em virtude do problema e do projeto em causa, pois pode ser mais vantajoso utilizar um ou o outro.

A conversão entre as redes é possível e será aqui concretizada, visto que os projetos que irão ser utilizados encontram-se originalmente definidos através de redes AnA, enquanto aqui se pretende utilizar redes AnN. Para converter redes AnA em redes AnN devemos começar por construir a própria rede AnA.

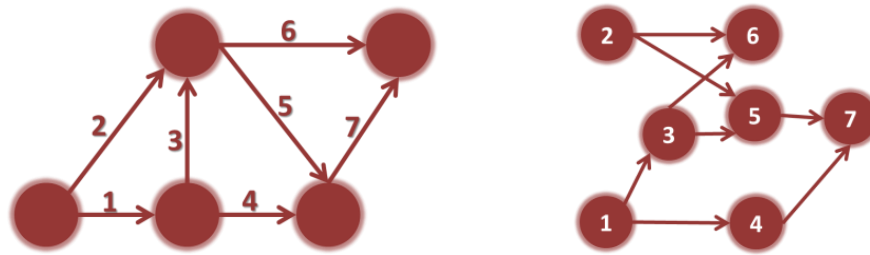


Figura 5 - À esquerda, Rede AnA (projeto 3)¹ e, à direita, Rede AnN (em construção)

Posto isto, para construirmos a rede AnN deveremos atribuir/substituir cada um dos arcos da rede AnA por nodos, à exceção das atividades *dummy* da rede AnA e de seguida estabelecer as precedências entre os diversos nodos (atividades) consoante as relações de precedência que já existiam na rede AnA (Barlow, 2005). Sempre que se constate que existe mais do que uma atividade que não tem atividades antecessoras (várias atividades iniciais) deve definir-se uma atividade fictícia (*dummy*) com duração e custo nulos, que representará o início do projeto, e que será assim antecessora de todas essas atividades iniciais. Da mesma forma, se existir mais do que uma atividade sem sucessores, deve definir-se uma atividade fictícia para representar o fim do projeto. Essas atividades traduzirão, portanto, o início/fim (único) do projeto pois, qualquer projeto apenas tem uma data para começar/terminar (Heizer & Render, 2006).

A título de exemplo, é utilizado um dos projetos tratados que se designa por “Projeto 3”. Este estava originalmente definido pela rede AnA da figura 5. Através das regras de conversão foi obtida a rede AnN também da figura 5 (à direita). Como se observa essa rede não tem as propriedades de ter um nodo inicial e final únicos pelo que foram inseridas duas atividades *dummy* resultando a rede final apresentada na figura 6.

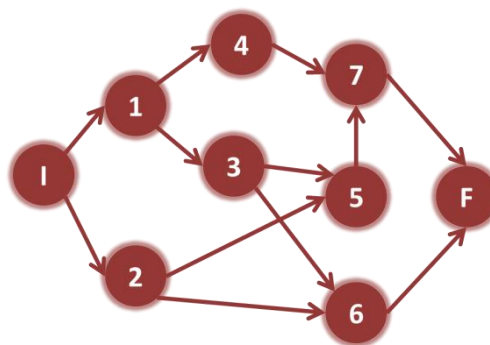


Figura 6 - Rede AnN (projeto 3)

¹ Este projeto (projeto 3) é um dos que serão analisados nos próximos capítulos e que consta da bibliografia desta dissertação. Para visualizar todas as conversões realizadas consultar o Anexo II.

III. Revisão bibliográfica sobre modelos de escalonamento de projetos

III.1 – Métodos Tradicionais

Como já foi referido no capítulo II, a programação de projetos é usada para planear e controlar um projeto de forma eficiente. De um modo geral, alguns dos objetivos da programação de projetos incluem:

- Definição de um cronograma (de início e término mais cedo) para cada atividade;
- Determinação da probabilidade de que um projeto será concluído e dentro do período de tempo previsto;
- Descobrir a programação que permite obter o custo mínimo para completar o projeto no prazo;
- Averiguar como os atrasos em certas atividades influenciam o tempo de conclusão do projeto;
- Monitorização do projeto para constatar se o seu progresso está dentro do prazo e orçamento definidos;
- Descobrir um cronograma (de atividades) que uniformize a alocação de recursos no desenrolar do projeto (Lawrence & Pasternack, 2002).

Na fase de programação de um projeto várias técnicas/metodologias podem ser adotadas. As mais tradicionais são, nomeadamente, o CPM e o PERT. No presente capítulo serão apresentados esses dois métodos e posteriormente será elaborada uma análise crítica a estes métodos tradicionais na qual será feita uma comparação entre eles.

Sintetizando, estes métodos são utilizados no contexto de um processo com seis grandes passos:

1. Definir o projeto e utilizar o WBS para identificar e definir as atividades;
2. Identificar as relações entre as atividades – decidir aquelas que precedem e as que se seguem a outras;
3. Definir a rede do projeto;
4. Atribuir a cada atividade uma estimativa de tempo e de custo;
5. Calcular o caminho mais longo (tempo) na rede – o **Caminho Crítico**;
6. Utilizar a rede como ajuda para planear, programar e controlar o projeto (Heizer & Render, 2006).

III.1.1 – CPM

O CPM foi desenvolvido em 1957 por J. E. Kelly de Remington Rand e M. R. Walker da DuPont para ajudar na construção e manutenção de fábricas de produtos químicos na DuPont (Heizer & Render, 2006).

O método do CPM é atualmente uma das metodologias mais difundidas, uma vez que tem adquirido reputação através de vastas aplicações bem-sucedidas e também porque é baseado em conceitos facilmente compreensíveis e empregáveis (Tavares *et al.*, 1996).

O CPM incide fundamentalmente no planeamento no tempo (determinação de início e fim de cada atividade), tendo por base o objetivo de minimização do tempo de realização do projeto. Para além disso, os resultados que facultam são o suporte da elaboração do planeamento de recursos necessários, tanto considerando as restrições de disponibilidade como na procura de um uso equilibrado desses recursos ao longo da execução do projeto (Tavares *et al.*, 1996). Este método considera ainda as relações de precedência e de interdependência existentes entre as atividades (Heizer & Render, 2006).

Este método é uma abordagem determinista para o planeamento do projeto, com base no pressuposto de que o tempo de execução de uma atividade pode ser determinado com certeza e é apenas um. Assim sendo, a duração de cada atividade é conhecida.

Após a decomposição do projeto nas suas atividades constituintes, e identificadas as respetivas ligações de precedência, pode proceder-se à sua representação através de uma rede de atividades. Esta inclui todas as atividades do projeto, reconhece os acontecimentos associados às diversas fases de desenvolvimento e permite a visualização das inter-relações e as interdependências das atividades. Todavia, não é requisito fazer essa representação para se abordar o CPM (Tavares *et al.*, 1996).

O método CPM baseia-se na determinação de quatro tempos relativos a cada uma das atividades, a saber (Heizer & Render, 2006):

<i>Earliest</i>	<i>Start</i>	Início mais cedo – tempo mais cedo que a atividade pode começar, partindo do pressuposto de que as atividades antecessoras estão completas.
	<i>Finish</i>	Fim mais cedo – tempo mais cedo que a atividade pode terminar.
<i>Latest</i>	<i>Start</i>	Início mais tarde – tempo mais tarde que a atividade pode começar sem atrasar o fim do projeto.
	<i>Finish</i>	Fim mais tarde – tempo mais tarde que a atividade pode acabar sem atrasar o fim do projeto

Para aplicação do algoritmo assume-se uma ordenação das atividades (normalmente, concretizada através da numeração destas), por forma a que cada atividade seja colocada antes de todas as suas atividades sucessoras.

Para a determinação destes tempos, o algoritmo faz duas passagens pela rede do projeto, uma do início para o final (*Forward pass*) e outra do final para o início (*Backward pass*). Na primeira determinam-se os tempos início mais cedo (ES) e fim mais cedo (EF) obedecendo a duas regras, começando sempre na primeira atividade do projeto até chegarmos à última:

↪ **Regra do tempo de início mais cedo** – se uma atividade só tem um antecessor imediato, o seu ES é igual ao EF do antecessor. Todavia, se tiver vários, o seu ES será igual ao maior EF desses antecessores (máximo).

$$ES = \text{Max} (EF \text{ de todos os antecessores imediatos})$$

↪ **Regra do tempo de fim mais cedo** – o tempo de fim mais cedo de uma atividade é sempre igual ao seu ES somado com a duração da atividade.

$$EF = ES + \text{duração da atividade}$$

No caso da primeira atividade, o seu ES é sempre zero. E, se se tratar de uma atividade *dummy* o seu EF também será zero pois, como já foi referido esse tipo de atividades não consomem recursos, logo a sua duração é zero o que implica que EF seja necessariamente também nulo (Heizer & Render, 2006).

Após considerar todas as atividades no *Forward pass*, efetua-se o caminho inverso, o *Backward pass*, que também considera duas regras. Contudo, para este começamos da última atividade do projeto para a primeira. As regras inerentes a esta metodologia são as seguintes:

- ↳ **Regra do tempo de fim mais tarde** – se uma atividade for o antecessor imediato de uma só atividade, o seu fim mais tarde (LF) é igual ao início mais tarde (LS) da atividade que a sucede. Mas, se uma atividade for o antecessor imediato de várias atividades, o seu LF é igual ao mínimo de todos os LS das atividades que o seguem de imediato.

$$LF = \text{Min} (LS \text{ de todas as atividades que a seguem})$$

- ↳ **Regra do tempo de início mais tarde** – o tempo de início mais tarde de uma atividade resulta da diferença entre o tempo de fim mais tarde (LF) e a duração da atividade.

$$LS = LF - \text{duração da atividade}$$

No caso da última atividade (de onde se inicia esta abordagem), o LF da última atividade coloca-se igual ao EF dessa atividade (Heizer & Render, 2006).

Os tempos mencionados também podem ser inseridos na representação da rede. A título de exemplo, veja-se a rede já apresentada anteriormente com os tempos agora nela inseridos (figura 7).

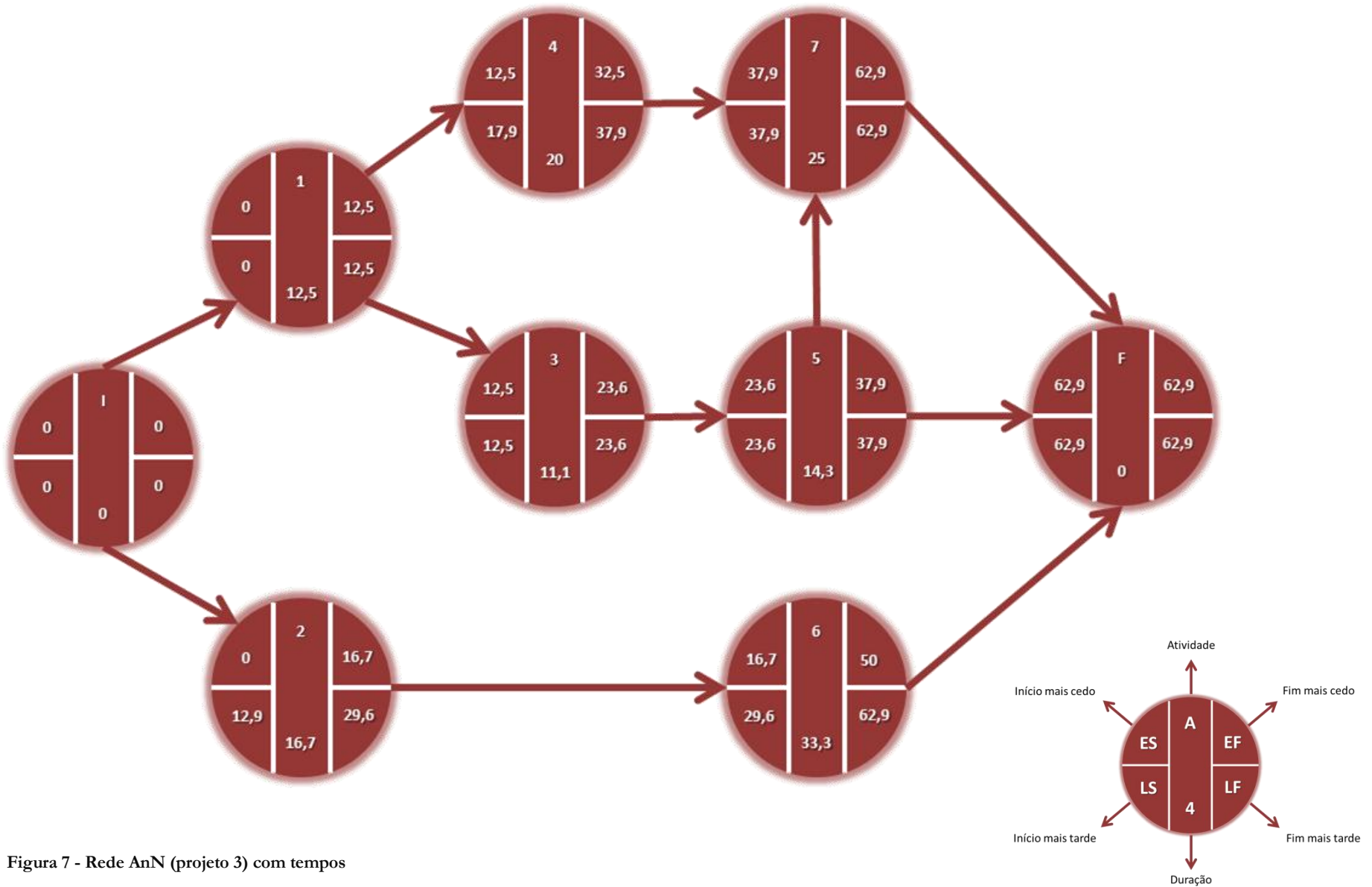


Figura 7 - Rede AnN (projeto 3) com tempos

Posto isto, como se subentende, a duração do projeto é dada pelo EF ou pelo LF (são sempre iguais) da última atividade.

Para determinar o caminho crítico procede-se agora ao cálculo dos tempos de folga das atividades. O tempo de folga total indica o tempo que uma atividade pode ser atrasada sem que atrase a totalidade do projeto (Heizer & Render, 2006). Este tempo pode ser determinado ou pela diferença entre LS e ES ou pela diferença entre LF e EF pois o resultado obtido será sempre o mesmo.

$$\textit{Tempo de folga total} = LS - ES = LF - EF$$

As atividades que tenham tempo de folga igual a zero pertencem ao caminho crítico e são denominadas por atividades críticas. O caminho crítico é o trajeto contínuo que parte do “Início” e termina na última atividade e só atravessa atividades críticas. Este caminho será o que na rede nos fornece o caminho mais longo desde o início até ao fim do projeto (Heizer & Render, 2006).

No exemplo considerado na figura 7, as atividades críticas eram I, 1, 3, 5, 7 e F, pelo que, o caminho crítico será o que inclui estas atividades.

Em cada projeto, as atividades críticas formam pelo menos um caminho crítico na rede, ou seja, podem existir vários caminhos críticos. A soma dos tempos de conclusão para as atividades no caminho crítico dá o tempo de conclusão mínima do projeto, que será igual duração do projeto já referida anteriormente.

Muitas vezes, é relevante assumir uma *due date* para o projeto, que constitui a data em que o projeto deve ser terminado. O não cumprimento de uma *due date* pode implicar, por exemplo, penalizações ou custos adicionais. Por isso, muitas vezes é importante verificar o atraso em relação à *due date*, se foi cumprido o escalonamento definido. No CPM, o atraso do projeto pode ser definido através do confronto entre a *due date* estipulada e o tempo de duração do projeto, ou seja,

$$\textit{Atraso do projeto} = \max(0; \textit{duração do projeto} - \textit{due date})$$

No caso do CPM, a duração das atividades e o custo são dados como certos a priori, mesmo sendo eles geralmente determinados através de uma média. O custo total de execução do projeto é dado pela soma de todos os custos inerentes às atividades constituintes do projeto. Como este método não considera incerteza, dá a duração como sendo conhecida e portanto, eventuais penalizações ou custos de atraso por incumprimento de uma *due date* são

conhecidas após ser concluída a programação do projeto. O custo total do projeto pode ser definido como:

$$\text{Custo total do projeto} = \sum \text{custo de execução de cada atividade} + \text{custos de atraso}$$

III.1.2 – PERT

O método PERT começou a ser desenvolvido como um meio para planejar e acelerar o desenvolvimento do projeto dos mísseis balísticos “Polaris”². Foi concretizado por uma equipa de investigação composta por representantes dos *Lockheed Aircraft Corporation*, o *Navy Special Projects Office* e a empresa de consultoria *Booz, Allen & Hamilton* (Heizer & Render, 2006).

Tal como o CPM, considera as relações de precedência e de interdependência entre as atividades e desenrola-se no contexto de um processo com os seis passos já mencionados (pág.13). Todavia, o PERT é um método de planeamento e controlo de projetos que entra em linha de conta com a incerteza associada às durações das atividades e pressupõe três estimativas de tempo para cada atividade – uma otimista, uma mais provável e uma pessimista (Heizer & Render, 2006).

No âmbito do PERT, a análise da rede é estocástica e voltada para a caracterização estatística da duração total do projeto. Este é um método que trata as durações das atividades como variáveis aleatórias com distribuições de probabilidades específicas. A definição da distribuição de probabilidades usada pelo PERT³ pressupõe a utilização das três estimativas indicadas:

- **Duração otimista (a)** – duração obtida se tudo corresse o melhor possível;
- **Duração mais provável (m)** – estimativa mais realista da duração;
- **Duração pessimista (b)** – duração obtida assumindo existência de condições desfavoráveis (Heizer & Render, 2006).

² Um míssil nuclear lançado por baixo da superfície do oceano por um submarino móvel

³ Os parâmetros expostos provêm da função densidade probabilidade da distribuição beta. Para informação mais detalhada sobre as distribuições aqui mencionadas consultar “Introdução à Estatística” (Murteira *et al.*, 2010).

Neste método assume-se que a duração de uma atividade segue uma distribuição beta. O tipo de distribuição beta usada pelo método PERT é, por vezes, designada em inglês por betapert (particularmente em *software* de gestão de projetos), e ir-se-á doravante usar esta designação quando for necessário referir esta distribuição.

Neste método, a duração esperada de uma atividade é dada por:

$$t = \textit{tempo esperado da duração da atividade} = \frac{(a+4m+b)}{6}$$

A variância dessa duração é determinada da seguinte forma:

$$v = \textit{variância do tempo da atividade} = \left[\frac{(b-a)}{6} \right]^2$$

No PERT começa-se por determinar o caminho crítico, tendo em conta as durações esperadas das atividades. Assume-se que a duração esperada do projeto será o comprimento desse caminho crítico definido com as durações esperadas, e que a variância será a variância nesse caminho crítico. A variância do projeto pode assim ser estimada como:

$$\sigma_p^2 = \textit{variância do projeto} = \sum (\textit{variâncias das atividades no caminho crítico})$$

De onde se depreende que o desvio-padrão do projeto se traduz por:

$$\sigma_p = \textit{desvio padrão do projeto} = \sqrt{\textit{variância do projeto}}$$

No caso do método PERT, se existir uma *due date*, o atraso esperado pode ser estimado como

$$\textit{Atraso esperado do projeto} = E(\max(0; \textit{duração esperada do projeto} - \textit{due date})),$$

em que $E(\cdot)$ representa o valor esperado.

De forma análoga ao CPM, muitas vezes quando se faz análise PERT também é relevante fazer análise dos custos. Esses custos incluem os custos de execução das atividades que ou são conhecidos ou têm um valor esperado que é calculado a partir da duração das atividades. O caso de existência de uma *due date* pode implicar custos de atraso/penalização, pelo que o seu cálculo é o seguinte:

$$\begin{aligned} & \textit{Custo total esperado do projeto} = \\ & = \sum \textit{custos de execução das atividades} + \textit{custos esperados de atraso} \end{aligned}$$

Ao usar o método PERT assume-se, geralmente, que o tempo de execução do projeto segue uma distribuição normal e que os tempos das atividades são estatisticamente independentes. Com estes pressupostos, é possível determinar a probabilidade de completar o projeto antes da *due date*, com recurso aos valores da função de distribuição normal. É ainda possível estimar o valor esperado dos custos de atraso, com recurso ao integral de perda unitária (ver, e.g., Costa, Dias, & Godinho, 2010, pp. 59-64).

III.1.3 – Análise crítica aos modelos tradicionais

Os métodos tradicionais apresentados diferem por razões históricas, tendo o CPM sido concebido inicialmente para solucionar problemas de programação de calendário na indústria e, o PERT para lidar com problemas de incerteza (como a adoção de novas tecnologias e a programação de projetos inovadores). Por terem sido desenvolvidos de forma independente possuem algumas diferenças que já foram apresentadas. Dessas diferenças destacam-se, nomeadamente, o facto de o CPM ser um modelo determinístico (considera que os tempos das atividades se conhecem) e o PERT um modelo probabilístico devido ao facto de recorrer a conceitos de probabilidade na estimação da duração das atividades e considerar 3 estimativas de tempos: mais provável, otimista e pessimista (Gouveia, 1999 e Rivera, 2003).

Tal como tudo, os modelos apresentados são detentores de vantagens reconhecidas mas, são por outro lado alvos de críticas pois não são adaptáveis a todos os projetos.

Não se está a colocar em causa todas as suas vantagens (de ambos os métodos), das quais são exemplos: a possibilidade de estimar a probabilidade de concluir um projeto num determinado prazo ou de prever datas de início e fim das atividades; a identificação das atividades que não podem sofrer atrasos sem prejudicar o cumprimento dos tempos previstos, ou seja, as atividades a vigiar (através da identificação do caminho crítico e dos tempos de folga); a monitorização de tempos e custos bem como toda a documentação de um projeto (incluindo gráficos) indicando responsáveis pelas diversas atividades e facilitando a tomada de decisões; a sua utilidade na programação de grandes projetos; a possibilidade de simular os efeitos das decisões alternativas ou situações imprevistas e oportunidade para estudar as suas consequências em relação ao cumprimento de prazos; utilização de conceitos relativamente simples, não matematicamente complexos e aplicáveis a uma ampla variedade de projetos.

Para além destas vantagens permitem ainda a possibilidade de definir e visualizar as relações de precedência (interdependência) entre as atividades através da representação da rede (Gouveia, 1999).

Contudo, existem diversas críticas relativamente à utilização destes modelos, umas mais significativas que outras. Em ambos os modelos, é geralmente difícil estimar de forma rigorosa tempos e custos. Muitas vezes não há dados históricos que facilitem esta estimação e, quando existem, muitas vezes não serão típicos do projeto que está a ser considerado podendo levar a alguma distorção (Rivera, 2003). Está inerente ainda a dificuldade da definição rigorosa da estrutura de rede indicadora das relações de interdependência entre as diversas atividades. Nem sempre é fácil definir claramente as atividades nem especificar as relações de precedência ou garantir que elas se mantêm estáveis ao longo da execução de todo o projeto (Estrela, 2008).

As técnicas apresentadas consideram ainda que os recursos são ilimitados, algo que na realidade está longe de ser verdade, pelo que a programação delas resultante pode não ser praticável e aconselha-se a que sejam consideradas diferentes técnicas. Todavia, ao assumir restrição de recursos torna-se difícil encontrar soluções ótimas. Difícil é também a representação e construção de algumas redes de projetos mais complexos, pois os gráficos tendem a ser grandes e pesados, o que obriga a utilização de computador para efetuar os cálculos e à elaboração de um planeamento cuidado cuja análise também se revela dificultada (Gouveia, 1999).

Uma outra desvantagem destes modelos associada à última referida incide sobre o pressuposto de que as atividades de um projeto são independentes entre si, que não se verificará pois, o mais comum num projeto é que a execução de uma atividade influencie a execução de outras (nomeadamente através da partilha de recursos) (Estrela, 2008).

As principais desvantagens normalmente imputadas ao CPM têm a ver com os pressupostos relativos às durações e custos das atividades, nomeadamente o facto de este método não considerar incerteza que, como sabemos, está patente em todo e qualquer projeto. A análise para determinação do caminho crítico é determinística e distingue atividades críticas de não críticas. O risco é tipicamente equiparado à variabilidade, mas os procedimentos baseados no CPM acabam por se concentrar inteiramente sobre o valor esperado (em vez de na variância) substituindo as variáveis aleatórias correspondentes o que pode levar a incorrer em erros significativos (Elmaghraby, 2005).

Por sua vez, o PERT já considera a incerteza, mas apenas em termos de duração das atividades e, como é do conhecimento comum, a incerteza está patente em tudo e não somente no tempo. O pressuposto de estimação, com precisão, de três durações para cada atividade também não é tarefa fácil, até porque as estimativas tendem a ser subjetivas (inclusive alguns responsáveis poderão influenciar os tempos). Estando ao critério do ser humano facultar estimativas de tempo, manter-se-ão subjetivas e sujeitas a receios de se ser excessivamente otimista ou pessimista. Esta subjetividade pode levar a incorrer em erros na estimação da probabilidade de que as várias atividades possam ser críticas. Aliás, uma atividade poderá ser mais crítica que outra (também ela crítica) caso seja integrante de mais do que um caminho (Carvalho, 2000).

O PERT usa um caminho crítico baseado na duração esperada das atividades. Como as durações são incertas, as atividades que se revelem efetivamente críticas na execução do projeto podem, na realidade, não pertencer ao caminho crítico determinado. Esta situação é agravada pela possibilidade de existir mais do que um caminho crítico com a mesma duração esperada (cujo somatório das durações seja o mesmo). À semelhança das outras situações, designa-se por caminho crítico aquele que for mais longo (Lawrence & Pasternack, 2002). Assim, sendo o foco o caminho crítico, o PERT ignora a possibilidade de o caminho mais longo vir a ser outro e tende a subestimar a duração esperada do projeto. Para que existam vários caminhos que se possam vir a revelar críticos, apenas é necessário que as atividades exteriores ao caminho crítico tenham um desvio-padrão significativo: neste caso, elas podem influenciar a duração do projeto se a sua duração efetiva for próxima da duração pessimista e a folga do respetivo caminho for ultrapassada. Dessa forma, o caminho crítico inicialmente determinado poderá eventualmente deixar de ser crítico (Carvalho, 2000).

Uma das críticas mais destacadas por diversos autores diz respeito à escolha adequada das distribuições. O método PERT assume que a duração do projeto obedece a uma distribuição normal. Se o número de atividades for grande este pressuposto pode ser razoável (teorema do limite central), mas se for pequeno, 5 ou 6 atividades, pode acontecer que a real distribuição de probabilidades seja longe da normal. Este modelo assume ainda que as durações das variáveis seguem uma distribuição beta, e isso tem sido contestado pois a distribuição real pode ser diferente. O método admite ainda que a distribuição da probabilidade do tempo de conclusão do projeto é igual à do caminho crítico, subestimando constantemente o tempo previsto de conclusão do projeto (Carvalho, 2000).

III.2 – Modelos estocásticos multimodo

Na presente dissertação proponho-me a apresentar uma alternativa aos modelos tradicionais. E, a minha escolha recai sobre estudos recentes sobre os modelos que assumem a possibilidade de usar múltiplos modos na execução das atividades. Isto é, assentam no pressuposto de que existe mais do que um modo de executar cada atividade.

Estes modelos multimodo, ao contrário dos tradicionais, têm em conta não só a incerteza, mas também a possibilidade de executar as atividades de diferentes modos. Dessa forma permitem definir uma estratégia por forma a tentar alcançar algum objetivo relativo ao projeto (e.g., minimização do custo total) tendo em conta não só os custos relativos à execução das atividades, mas também a penalização por um eventual atraso na conclusão do projeto. Alguns destes modelos não concentram unicamente a atenção num caminho crítico determinado a priori e, apesar de não assumirem explicitamente limitações de recursos, consideram o conteúdo de trabalho e esforço inerentes à execução de cada atividade.

De entre a bibliografia selecionada destacam-se, nomeadamente, dois artigos sobre os quais assentam dois modelos estocásticos multimodo distintos mas relacionados, que são Tereso, Araújo, & Elmaghraby (2004) e Godinho & Branco (2012). No corrente trabalho basear-me-ei no modelo proposto por estes últimos para propor um modelo alternativo aos tradicionais CPM e PERT, uma vez que me parece ter resultados satisfatórios e ser facilmente aplicável a projetos reais.

Estes modelos de Tereso *et al.* (2004) e de Godinho & Branco (2012) assumem que existe mais do que um modo de execução possível para cada atividade, contemplam a existência de incerteza, permitem a utilização dos conceitos de conteúdo de trabalho e esforço (que serão tidos em conta na determinação da duração das atividades) e têm predefinido uma *due date* para a execução do projeto considerando a respetiva penalização em caso de atraso em relação a essa data. Os autores dos modelos definem que o conteúdo de trabalho é um fator externo causador de incerteza na duração das atividades. A duração de cada atividade aumenta/diminui na mesma proporção que este conteúdo de trabalho e é inversamente proporcional à alocação de recursos (vulgo esforço)(Godinho & Branco, 2012):

$$Duração\ atividade = \frac{conteúdo\ de\ trabalho}{esforço}$$

Assumem ainda que a alocação de recursos pode ser ajustada consoante o progresso do projeto. Por sua vez, elucidam que a penalização existe no caso de não se cumprir com o *due date* e é proporcional ao atraso (custo de atraso por unidade de tempo) em função do tempo de execução da atividade – $C(t)$. Assim sendo, a penalização é crescente com o atraso (Godinho & Branco, 2012 e Tereso *et al.*, 2004).

Para além desses conceitos, consideram ainda que existe algum tipo de *trade-off* eficiente entre o tempo e o custo. Supõe-se, em ambos os modelos dos artigos, que se pretende minimizar o custo total do projeto, tendo em conta os custos de execução das atividades e a penalização por atraso em relação à *due date* (Godinho & Branco, 2012 e Tereso *et al.*, 2004). O custo das atividades é proporcional ao quadrado do esforço empreendido na sua execução e à duração destas:

$$\text{Custo execução atividade} = \text{constante} \times \text{esforço}^2 \times \text{duração da atividade} \quad (\text{III. 1})$$

O custo total do projeto englobará ainda eventuais custos de atraso que são definidos em função da duração do projeto e relativamente ao *due date*.

O modelo de Tereso *et al.* (2004) tem ainda como principais características o facto de considerar que a duração das atividades segue uma distribuição exponencial e que é contínuo o conjunto de modos de execução – isto é, o esforço utilizado para executar cada atividade pode ser qualquer dos valores pertencentes a um intervalo contínuo. Neste modelo considera-se ainda que existe liberdade de gestão, ou seja, é possível adotar políticas adaptativas⁴. Nesse sentido, o objetivo é definir a política de execução mais adequada possível para o projeto em questão. Os níveis de esforço usados na execução das atividades inseridas no caminho crítico são considerados variáveis de decisão, e para as restantes são considerados níveis de esforço fixos. O modo de execução de cada atividade no caminho crítico é determinado por programação dinâmica, tendo por base o estado do projeto no momento do início da atividade – desta forma, não existe uma representação facilmente compreensível para a política de execução do projeto.

O modelo proposto por Godinho & Branco (2012) assume também que existe uma *due date* para a execução do projeto e a penalização por qualquer atraso decorrente da sua conclusão tal como no modelo anteriormente apresentado. Este modelo assenta também no pressuposto de que podemos ter várias formas de realizar cada atividade e, para escolhermos o

⁴ Uma política adaptativa é política de execução do projeto em que o modo de execução é escolhido na altura em que se inicia cada atividade e da forma como está a decorrer o projeto. A maioria dos modelos consideram políticas não adaptativas, em que o modo de execução é escolhido antes do início do projeto (Godinho & Branco, 2012).

modo de execução da mesma comparamos a data de início da atividade em causa com um conjunto de limiares cujos valores são calculados através de um processo de otimização. Ou seja, compara-se a data de início da atividade com um limiar e, caso seja posterior a esse limiar, optar-se-á por um modo de execução mais rápido para reduzir o valor esperado das penalizações por atraso. Este modelo também tem como objetivo minimizar o custo total do projeto, tendo em consideração quer os custos relativos à execução das atividades quer a penalização por atraso da conclusão do projeto em relação à *due date* (Godinho & Branco, 2012). À semelhança de Tereso *et al.* (2004), modelos assentes em políticas adaptativas pressupõem que exista flexibilidade de gestão, pois, caso essa não exista, o gestor de projeto não conseguirá reagir à forma como o projeto se está a desenvolver. Todavia, neste caso concreto, é necessário saber o que fazer quando o progresso não for satisfatório, assumindo que essa flexibilidade de gestão existe (Elmaghraby, 2005).

Como supramencionado, estes autores (Godinho & Branco, 2012) consideram que a natureza dos recursos é discreta, pelo que será considerado um conjunto discreto de modos. Para além disso, cada modo é caracterizado por uma distribuição de probabilidades para a sua duração e custo. Como já referido, a escolha do modo de execução é feito com base no tempo de início da atividade e é definida por um conjunto de limiares contra a qual o tempo de início é comparado. Esses limites são determinados através de uma meta-heurística - o algoritmo eletromagnético (Godinho & Branco, 2012).

Este modelo alternativo considera ainda que, após iniciada a atividade já não é possível alterar o seu modo de execução, cada modo é caracterizado por uma duração e custo estocásticos, a variável duração é aleatória e não negativa e, o custo segue uma função não decrescente da duração da atividade, podendo incorporar uma parte fixa e outra variável. Mais uma vez é assumido que as durações das atividades são independentes, e a penalização é determinada em função do tempo de realização mas, nos exemplos apresentados pelos autores, estes assumem que a penalização é proporcional ao atraso, por forma a simplificar a apresentações desses mesmos exemplos.

Apresentados os dois modelos, podem agora apontar-se as principais diferenças entre eles. Enquanto Tereso *et al.* (2004) consideram um contínuo de modos, Godinho & Branco (2012) discretizam o conjunto de modos de execução das atividades, considerando apenas um conjunto finito de modos para cada atividade. Estes últimos autores abandonam também a ideia de que a duração das atividades segue uma distribuição exponencial, permitindo utilizar qualquer distribuição de probabilidade não negativa, e permitem ainda que o modo de

execução possa ser adaptado para todas as atividades e não apenas para as atividades pertencentes ao caminho crítico. Para Godinho & Branco (2012), a escolha de um modo é função do momento de início da atividade, permitindo desta forma, ao contrário de Tereso *et al.* (2004), definir a política de execução do projeto de uma forma simples. Assim, o modelo proposto por Godinho & Branco (2012) demonstra que uma política adaptativa pode ser simples, fácil de implementar e compreender ao invés do que por norma se assume (difícil de perceber e aplicar na realidade) (Godinho & Branco, 2012).

IV. Análise aos Pressupostos dos Métodos Clássicos

IV.1 – Objetivos da análise

Como já foi dito, os métodos clássicos CPM e PERT assumem alguns pressupostos que podem ter influência nos resultados obtidos. Com a análise que se irá executar pretende-se estudar os impactos dos pressupostos destes métodos, em particular:

1. Analisar o impacto da substituição de uma distribuição de probabilidades da duração das atividades pelo seu valor esperado, na estimação da duração esperada do projeto (análise do impacto do pressuposto do CPM);
2. Analisar o impacto de considerar apenas as atividades no caminho crítico (calculado a partir das durações esperadas das atividades) no cálculo de duração esperada e variância da duração do projeto;
3. Analisar o impacto de aproximar durações que seguem distribuições diferentes da betapert por distribuições betapert.

As análises supracitadas, serão concretizadas quer para a duração quer para os custos do projeto, considerando um modelo com custos das atividades e custos de atraso relativamente a uma *due date*.

IV.2 – Projetos considerados e implementação dos modelos

Para análise a efetuar serão considerados os projetos já estudados quer por Tereso *et al.* (2004), quer por Godinho & Branco (2012). Apenas serão estudados na presente dissertação os primeiros dez projetos por eles analisados. Os dados base serão os mesmos por eles considerados e constam do anexo I. De salientar que para alcançar os objetivos da análise, foram comparados os resultados provenientes dos métodos clássicos com o caminho crítico determinado por via de Simulação de Monte Carlo (SMC), concretizada através do *add-in* (*Crystal Ball*) do *Microsoft Excel*, com recurso a 1000 iterações.

Nos projetos originais definidos por Tereso *et al.* (2004) as durações das atividades seguem uma distribuição exponencial com parâmetro λ (este parâmetro representa o inverso da média da distribuição). Os dados relativos a estes projetos fornecem-nos a estrutura da rede no formato AnA, o valor de λ , os valores entre os quais deverá estar inserido o esforço de execução de cada atividade (x , que em todos os projetos terá que se encontrar no intervalo [0.5,1.5]), a *due date* considerada e o custo de penalização por cada unidade de tempo de atraso.

Na aplicação dos modelos tradicionais, foram admitidos alguns pressupostos específicos. Para todas as análises concretizadas, foram convertidas as redes dos projetos para o tipo de estrutura AnN (ver anexo II), visto que é esse o tipo de representação adotado na presente dissertação, tal como já fora referido na secção I.4. Uma vez que os modelos tradicionais não permitem escolher entre diferentes modos de execução das atividades (ou entre diferentes esforços), foi assumido que estas seriam empreendidas com recurso a um nível de esforço correspondente ao ponto central do intervalo de valores fornecidos para o mesmo, pelo que, neste caso, $x = 1$. Para definir o custo de execução de cada atividade, Tereso *et al.* (2004) e Godinho & Branco (2012) usam o valor 1 para a constante usada em (III.1), o que também será seguido no presente trabalho. Assim o custo é traduzido pela expressão seguinte:

$$\text{Custo de execução da atividade} = \text{duração} \times \text{esforço}^2$$

Para a primeira análise foi utilizado o valor esperado da distribuição da duração, calculado tendo em conta o conteúdo esperado de trabalho e o esforço para cada atividade. Nesse sentido, o método CPM foi concretizado através da execução de todo o procedimento descrito na secção III.1.1, com a salvaguarda de que a duração esperada foi determinada da seguinte forma (tal como nos modelos multimodais) devido à informação facultada:

$$\text{Duração atividade} = \frac{\text{conteúdo de trabalho}}{\text{esforço}}$$

O conteúdo esperado é calculado através do valor esperado da respetiva distribuição de probabilidades, sendo assim $\frac{1}{\lambda}$ ⁵. Desse modo, foram calculadas as durações dos vários projetos e os custos totais dos mesmos. Não se verifica em nenhum caso a existência de atrasos pois, a duração calculada através do CPM é inferior à *due date* considerada.

Foi ainda utilizada a distribuição de probabilidade exponencial numa SMC, por forma a determinar as durações dos diversos projetos, respetivos atrasos e custos. Para aplicação

⁵ Sendo que λ é definido como sendo um dado conhecido à partida.

dessa distribuição, assumiu-se que a variável conteúdo de trabalho (variável *input*) é determinada por Simulação de Monte Carlo, assumindo o valor de λ como sendo a taxa da distribuição exponencial. Como variáveis a analisar foram definidas as variáveis duração total do projeto, atraso do projeto e custo total esperado do projeto. O atraso bem como o custo total do projeto foram calculados através das fórmulas apresentadas na secção III.1.1. Após essas variáveis definidas foi corrida a simulação e os valores considerados para análise foram os valores médios obtidos através da simulação para as variáveis a analisar. Foi ainda conseguido, pela simulação, o valor da variância da duração do projeto (e respetivo desvio-padrão).

Para além do método CPM e da SMC concretizada com uma distribuição exponencial, foi ainda realizada uma outra SMC utilizando agora a distribuição betapert definida de forma a aproximar a média e a variância da distribuição exponencial. Nesta simulação, sendo o conteúdo esperado novamente a variável *input* e determinada por simulação, foram definidos os seguintes parâmetros para a mesma:

$$\text{Mínimo da distribuição} = \text{conteúdo otimista} = a = 0$$

$$\text{Valor mais provável da distribuição} = \text{conteúdo mais provável} = m = 0$$

$$\text{Máximo da distribuição} = \text{conteúdo pessimista} = b = 6 \times \frac{1}{\lambda}$$

Estes parâmetros foram desta forma definidos por forma a igualar a média e a variância da duração das tarefas às que se obtêm com a distribuição exponencial, isto é, para que os resultados das duas simulações fossem comparáveis. Esta simulação foi executada à semelhança da anterior, diferindo apenas na escolha da distribuição para determinação do conteúdo esperado, o que implicou a definição dos parâmetros acima descritos. Ou seja, as variáveis consideradas a analisar foram as mesmas e a análise baseou-se nos valores esperados destas variáveis. Uma vez que o conteúdo esperado e a duração são proporcionais, a distribuição que seguem é a mesma (betapert) e os seus parâmetros são também eles proporcionais.

Tendo todos os dados necessários determinados (anexos III, VI e VII), para proceder a comparações entre os três métodos, foram calculadas as diferenças percentuais quer entre os valores do método CPM e da SMC com distribuição exponencial, quer entre os valores do método CPM e da SMC com distribuição betapert. Os resultados podem ser consultados nos anexos VIII.

Os cálculos atrás referidos tinham em vista o primeiro objetivo de análise que pretende mostrar claramente qual o erro em que se incorre quando se opta por um modelo determinista (método CPM) ao invés de se considerar modelos que incorporam o risco.

As simulações acima descritas (com distribuição exponencial e com distribuição betapert) foram as consideradas e concretizadas para levar a cabo o terceiro objetivo de análise (anexos VI e VII). No entanto, para proceder a comparações foi determinada uma nova diferença percentual entre os valores da SMC com distribuição exponencial e os valores da SMC com distribuição betapert aproximada à exponencial (anexo X). Este objetivo de análise tem como finalidade apresentar o risco decorrente de se adotar uma distribuição incorreta – neste caso, recorrer à distribuição betapert (usada pelo modelo PERT) quando a verdadeira distribuição é a exponencial.

Por último, mas não menos importante, o segundo objetivo de análise pretende expor o risco de apenas se considerar a incerteza no caminho crítico. Para determinação desse risco, o tradicional método PERT foi implementado para os vários projetos. Também para este método os parâmetros foram definidos tendo em vista a utilização de uma distribuição betapert com a mesma média da distribuição exponencial usada originalmente e, com os valores máximo e mínimo localizados à mesma distância da média. Ou seja, foi utilizada uma distribuição PERT com características idênticas às que habitualmente se encontram em projetos descritos na literatura. Nesse sentido, foi considerado um conteúdo otimista, um mais provável e um pessimista (parâmetros a , m e b , respetivamente). Os parâmetros foram, então, definidos da seguinte forma:

$$m = \frac{1}{\lambda}; a = \frac{m}{2}; b = \frac{3}{2}m$$

Desse modo, o conteúdo esperado foi traduzido por:

$$\text{conteúdo de trabalho esperado} = \frac{(a + 4m + b)}{6}$$

Posto isto, foram determinadas as variâncias dos conteúdos esperados de cada atividade através da fórmula presente na página 20 da secção III.1.2. A duração esperada de cada atividade foi definida pelo quociente entre o conteúdo esperado e o esforço. Por sua vez, a variância das durações foi assim determinada:

$$\text{variância da duração} = \frac{\text{variância do conteúdo esperado}}{\text{esforço}^2}$$

Determinei de seguida o caminho crítico e, após isso, constatei qual era a duração total dos projetos, calculei as suas variâncias (mencionada na secção III.1.2) e respetivos desvios-padrão. Para obter o valor esperado do atraso do projeto foram realizados alguns cálculos

intermédios, nomeadamente o limite (normalizado) que será utilizado para determinar o integral de perda unitária (para mais detalhes, ver Costa, Dias, & Godinho, 2010). Tendo estes valores, o valor esperado do atraso do projeto traduz-se por:

$$\text{Atraso esperado do projeto} = \text{Desvio} - \text{padrão do projeto} \times \text{Integral de perda unitária}$$

De forma análoga ao PERT tradicional apresentado, o custo total do projeto é dado pela soma de todos os custos de execução das atividades agregado aos custos adicionais.

$$\text{Custo total do projeto} = \sum \text{custos de execução das atividades} + \text{Penalização}$$

Neste caso concreto, os custos adicionais são denominados por penalização. Essa penalização é determinada pelo produto seguinte:

$$\begin{aligned} \text{Penalização esperada} &= \\ &= \text{atraso esperado do projeto} \times \text{penalização por unidade de tempo de atraso} \end{aligned}$$

Para alcançar este segundo objetivo, fiz a comparação dos resultados obtidos através do método acima descrito com uma SMC que assumiu que os conteúdos de trabalho das atividades seguiam uma distribuição betapert com as características descritas acima, uma vez que é essa a distribuição considerada quando se usa o método PERT nestes exemplos. Os parâmetros da distribuição de probabilidades do conteúdo foram os mesmos que no método PERT, isto é,

$$m = \frac{1}{\lambda}; a = \frac{m}{2}; b = \frac{3}{2}m$$

O conteúdo esperado foi definido como variável *input* e as variáveis duração do projeto, atraso do projeto e custo total do projeto definidas como variáveis a analisar. Essas variáveis foram traduzidas da mesma forma que para o método PERT. Após executada a SMC, os valores utilizados para a análise foram os valores médios obtidos através da simulação.

Alcançados todos os resultados de ambos os métodos (anexo IV e V), também para atingir este objetivo, foram calculados diferenciais entre os resultados do método PERT e os da SMC com utilização da distribuição betapert clássica – ver anexo IX.

IV.3 – Impacto dos pressupostos dos modelos tradicionais

IV.3.1 – Pressuposto da duração determinista das tarefas

Pretende-se nesta secção evidenciar a diferença dos resultados provenientes de simulações ou de se fazer cálculos através de médias (determinadas ou não por dados históricos). Assim sendo, foram comparados os resultados obtidos com o modelo CPM (recorrendo aos valores esperados das distribuições de probabilidade, tal como indicado em III.1.2), com os obtidos através das SMC com utilização da distribuição betapert aproximada à exponencial e com a distribuição exponencial. Nesta análise não se dá relevo à variância porque o modelo CPM, como apresentado, não considera incerteza, pelo que essa variável não existe, logo não é comparável.

A título de exemplo, apresenta-se aqui os resultados do projeto n.º 9⁶, no entanto, todos os resultados podem ser visualizados no anexo VIII. Para além desses resultados, foram determinadas as variações médias percentuais de todos os projetos considerados. Da observação dos resultados obtidos podemos concluir que utilizando qualquer uma das distribuições (betapert ou exponencial), obtemos valores para a duração do projeto superiores aos que são dados pelo método CPM em cerca de 30% (valor determinado por variação percentual). Apesar de estas distribuições já obterem durações superiores para os projetos, consideram ainda a existência de atrasos, o que o método CPM não tinha em conta. Assim sendo, o custo calculado pelas simulações é superior ao do CPM em mais de 70%. Ora, estando a falar-se da variável custos, isto é algo muito importante e que não se pode negligenciar.

Tabela 1 - Resultados das simulações feitas com vista a analisar o impacto do pressuposto da duração determinista das tarefas⁷

	Projeto 9					Média dos 10 projetos ^{a)}	
	Modelo CPM	Simulação (exponencial)	Simulação (betapert)	Varição 1 ^{b)}	Varição 2	Varição 1	Varição 2
Duração	178,57	234,22	224,35	31,16%	25,64%	35,64%	30,14%
Atraso	0,00	58,59	47,45	– ^{c)}	–	–	–
Custo total esperado	509,13	866,34	800,01	70,16%	57,13%	83,77%	70,11%

^{a)} A variação percentual média é calculada como uma média aritmética relativa ao conjunto de projetos considerado.

^{b)} A variação 1 corresponde à variação existente entre o modelo CPM e a simulação com base na distribuição exponencial e a 2 corresponde à variação entre ao modelo CPM e a simulação com base na distribuição betapert.

^{c)} O traço (–) significa que o valor em causa não está definido.

⁶ A escolha do projeto a apresentar em todas as análises é feita com base no projeto que apresente valores mais próximos da média.

⁷ As durações, atrasos e custo total esperado são as médias obtidas pelo método CPM e através das iterações das simulações.

Deste modo, a conclusão que advém da constatação destes resultados é que, em modelos deterministas, isto é, não considerando incerteza, as durações dos projetos poderão ficar muito aquém da duração esperada que se irá verificar realmente. E, depreende-se ainda que estando o cálculo da duração determinado dessa forma, os custos totais calculados estarão longe de corresponder aos custos esperados que se irão verificar na implementação do projeto, isto é, haverá uma subestimação dos custos.

IV.3.2 – Pressuposto de só ser relevante incerteza no caminho crítico

Nesta secção pretende-se evidenciar a crítica de, na gestão de projetos, a tendência ser a atenção concentrada nas atividades do caminho crítico. Para tal, será efetuada uma comparação entre o método PERT e uma SMC efetuada utilizando a distribuição betapert (anexo IX).

Para esta análise, escolhi como projeto exemplo o n.º 5, acompanhado da variação percentual média dos dez projetos considerados. De entre os resultados obtidos repara-se que as maiores diferenças entre o PERT e a simulação encontram-se presentes ao nível da variância que, só por si, implica diferenças ao nível do possível atraso do projeto. Como se sabe, o método PERT apenas considera para a determinação da variância da duração do projeto as variâncias das atividades do caminho crítico. Contudo, na simulação são consideradas as variâncias de todas as atividades. O facto de se considerar as atividades fora do caminho crítico (simulação betapert) incute um aumento de 24% na variância da duração do projeto relativamente ao modelo PERT. A variância então presente nas atividades fora do caminho crítico torna-se significativa e comprova que não devem ser ignoradas essas atividades pois, também a sua variância poderá fazer alterar a duração total do projeto, bem como o seu caminho crítico. Como se verifica pela análise da variável atraso do projeto, o facto de considerar também as atividades fora do caminho crítico pode duplicar o valor esperado desse atraso comparativamente ao valor determinado pelo método PERT.

Tabela 2 - Resultados da aplicação do modelo PERT e simulação feitos com vista ao pressuposto de só ser relevante incerteza no caminho crítico⁸

	Projeto 5			Média dos 10 projetos
	Modelo PERT	Simulação (betapert)	Variação	Variação ^{d)}
Duração	26,67	27,87	4,51%	3,46%
Atraso	0,36	0,89	144,83%	108,73%
Variância	4,78	5,48	14,60%	24,07%
Desvio-padrão	2,19	2,34	7,05%	9,64%
Custo total esperado	71,52	75,94	6,18%	3,31%

d) A variação percentual média é calculada como uma média aritmética relativa ao conjunto de projetos considerado.

Assim se percebe que, a atenção concentrada apenas e só no caminho crítico poderá ser errónea pois, as atividades não críticas poderão ter variâncias significativas que façam com que a dada altura as atividades não críticas se possam tornar críticas alterando a duração do projeto.

IV.3.3 – Pressuposto de distribuição betapert das durações

Para a análise do impacto da escolha de uma correta distribuição toma-se aqui como exemplo, o cálculo efetuado com a distribuição exponencial (a correta para os projetos considerados) e o mesmo efetuado com a distribuição betapert adaptada à distribuição exponencial. Estas simulações são as mesmas que foram determinadas para a secção IV.3.1.

Mais uma vez, foi escolhido um projeto exemplo (projeto 4) para aqui apresentar e os resultados médios de todos os projetos. Dos resultados obtidos (anexo X) detetou-se que, em média, a duração do projeto é superior em cerca de 4% quando determinada pela distribuição exponencial relativamente à distribuição betapert, o que indica que a distribuição betapert subestima a duração do projeto quando a verdadeira distribuição é a exponencial. Este incremento da duração repercute-se ainda no custo que, na distribuição exponencial apresenta, em média, um valor 7% superior ao obtido pela distribuição betapert. Para todas as outras variáveis, a exponencial apresenta valores superiores aos da distribuição betapert. No entanto,

⁸ As durações, atrasos e custo total esperado são as médias obtidas pelo método PERT e através das iterações da simulação. Da mesma forma a variância e o desvio-padrão também se referem aos resultados do modelo e das iterações da simulação.

a diferença percentual maior reside na variância da duração do projeto (onde a diferença entre distribuições é, em média, 58%), inculcando que a variável do atraso também se manifeste com valores diferentes para ambas as distribuições tendo a distribuição exponencial um valor 20% superior ao da distribuição betapert.

Em conclusão, a escolha adequada de uma distribuição é fundamental pois os resultados podem ser bastante diferentes. Neste caso verificámos que a distribuição betapert adaptada à exponencial tende a subestimar o valor das variáveis quando comparada com a real distribuição exponencial.

Tabela 3 - Resultados das simulações feitas com vista ao pressuposto de distribuição betapert das durações⁹

	Projeto 4			Média dos 10 projetos
	Simulação (betapert)	Simulação (exponencial)	Variação	Variação ^{e)}
Duração	143,90	150,46	4,56%	4,20%
Atraso	45,92	53,55	16,61%	20,97%
Variância	4272,14	6750,15	58,00%	58,56%
Desvio-padrão	65,36	82,16	25,70%	25,88%
Custo total esperado	458,23	488,88	6,69%	7,78%

e) A variação percentual média é calculada como uma média aritmética relativa ao conjunto de projetos considerado.

⁹ As durações, atrasos e custo total esperado são as médias obtidas através das iterações das simulações. Da mesma forma a variância e o desvio-padrão também se referem aos resultados do modelo e das iterações da simulação.

V. Conclusões

Do trabalho concretizado constatou-se que os tradicionais métodos existentes para a gestão de projetos, oferecem vantagens, nomeadamente, a possibilidade de fazer previsões, a identificação das atividades críticas, a monitorização de tempos e custos, a utilização de conceitos acessíveis, etc.

No entanto, não são facilmente aplicáveis a todos os projetos e é difícil estimar de forma rigorosa tempos e custos. Nem sempre existem dados históricos e, quando existem, nem sempre são típicos do projeto considerado, levando a resultados incorretos. Para além disso, nem sempre é fácil definir claramente as atividades e é difícil a definição rigorosa da estrutura das redes e garantir que elas se mantêm estáveis ao longo da execução de todo o projeto. Difícil é ainda a representação e construção de algumas redes de projetos mais extensas, visto que, as redes tendem a ser grandes e pesadas, o que obriga a utilização de computador.

Por um lado o CPM peca por não considerar incerteza e por se concentrar inteiramente sobre o valor esperado (não tendo em conta a variância ao qual o risco é equiparado) substituindo as variáveis aleatórias pelos correspondentes valores esperados, o que pode provocar erros. Por outro lado, o PERT ao assumir o pressuposto de estimação de três durações para cada atividade (mínima, mais provável e máxima) similarmente não é tarefa simples e pode ser subjetiva, e pode levar a incorrer em erros na estimação do caminho crítico e das atividades nele consideradas.

Contudo, onde também recaem críticas é ao nível da escolha adequada das distribuições onde o PERT assume que a duração do projeto obedece a uma distribuição normal e que durações das tarefas seguem uma distribuição beta. E, pode acontecer que na realidade a distribuição possa ser diferente.

Relativamente ao modelo alternativo exposto, tendo em conta as análises já efetuadas pelos outros autores (Tereso, Araújo, & Elmaghraby (2004) e Godinho & Branco (2012), verifica-se que, ao considerar políticas adaptativas é possível supor a existência de vários modos de execução de cada tarefa e, escolher o modo mais adequado tendo em conta o progresso do projeto, no momento em que essa atividade será iniciada. Assim sendo, os custos e a duração média dos projetos apresentarão valores distintos dos modelos tradicionais.

Relativamente às análises feitas as conclusões alcançadas foram que ao assumir a utilização de modelos deterministas, esses não consideram o fator incerteza que, como já foi mencionado é comum nos dias que correm. Esses modelos definem as durações dos projetos

aquém do que realmente é provável que suceda e, assim sendo, os custos totais esperados por modelos deterministas tendem a subestimar os reais custos esperados da execução dos projetos, uma vez que esses estão dependentes implicitamente da duração do projeto. Esta subestimação pode mesmo indicar custos totais esperados 50% inferiores ao valor dos custos totais esperados da execução do projeto obtidos recorrendo a modelos incorporadores de incerteza. Outra conclusão advinda dos testes executados expõe o erro comum de se concentrar a atenção apenas no caminho crítico desprezando as variâncias das atividades fora do caminho crítico. A variância dessas atividades pode ser de tal modo significativa que, ao longo do progresso do projeto essas atividades se possam vir a tornar críticas chegando mesmo a alterar o próprio caminho crítico. E, como já constatado, os custos inerentes à execução do projeto poderão então diferir dos custos esperados. Para além destas conclusões existe ainda a constatação de que uma escolha errada de uma correta distribuição poderá levar a discrepâncias nos valores quer da duração quer do custo. De todas estas conclusões atingidas se depreende a real importância da consideração do risco em gestão de projetos, nomeadamente em termos de custos e de tempo que, muitas vezes, são desconsiderados nos modelos aplicados levando a frequentes erros que se traduzem em “surpresas” aquando da implementação dos projetos. É de grande importância recorrer a modelos mais sofisticados para reduzir as probabilidades de incorrer em erros e que exponham os riscos inerentes dos diversos *trade-offs* possíveis, particularmente, em termos de benefícios custo-tempo.

Referências bibliográficas

- Abrignani, B., Gomes, R., & Vilder, D. (2000). *Mochila Pedagógica sobre Gestão de Projectos* (T-Kit n.º3). Estrasburgo, Bruxelas: Humana Global.
http://youth-partnership-eu.coe.int/youth-partnership/documents/Publications/T_kits/3/Portuguese/T-Kit3_po.pdf
- Barlow, J. F. (2005). *Excel Models for Business and Operations Management* (2.ª edição). Instituto de Tecnologia de Dublin: John Wiley & Sons, Ltd.
- Carvalho, J. D. (2000). *Programação de Projectos - Método CPM e PERT. Restrição de Recursos*. Obtido de Escola de Engenharia da Universidade do Minho - Departamento de Produção e Sistemas:
http://pessoais.dps.uminho.pt/jdac/apontamentos/Cap04_Project.pdf
- Costa, J., Dias, J., & Godinho, P. (2010). *Logística*. Coimbra: Imprensa da Universidade de Coimbra.
- Demeulemeester, E. L., & Herroelen, W. S. (2002). *Project Scheduling, A research handbook*. USA: Kluwer Academic Publishers.
- Elmaghraby, S. E. (2005). *On the falacy of averages in the project risk management*. European Journal of Operational Research, vol. 165, issue 2, pp. 307-313.
- Estrela, M. P. (2008). *Dissertação: Metodologia de análise e controlo dos prazos em projectos de construção*. Obtido de Universidade Técnica de Lisboa - Instituto Superior Técnico: <https://dspace.ist.utl.pt/bitstream/2295/243876/1/Dissertacao.pdf>
- Godinho, P., & Branco, F. G. (2012). *Adaptive policies for multi-mode project scheduling under uncertainty*. European Journal of Operational Research, vol. 216, issue 3, pp. 553-562.
- Gouveia, L. M. (1999). *Gestão de Informação*. Obtido de Universidade Fernando Pessoa: http://www2.ufp.pt/~lmbg/cadeiras/gst_cap7.pdf
- Heizer, J., & Render, B. (2006). *Operations Management* (8.ª edição). New Jersey: Prentice Hall.
- Lawrence, J. A., & Pasternack, B. A. (2002). *Applied Management Science: Modeling, Spreadsheet Analysis, and Communication for Decision Making* (2.ª edição). California: John Wiley & Sons, Inc.
- Murteira, B., Ribeiro, C.S., Silva, J.A., & Pimenta, C. (2010). *Introdução à Estatística*. Escolar Editora.

- Rivera, I. (2003). *Ingeniería Comercial: Investigación Operativa I*. Santa Cruz, Bolívia: Universidad Privada Domingo Savio.
<http://www.monografias.com/trabajos24/pert-cpm/pert-cpm.shtml>
- Tavares, L. V., Oliveira, R. C., Themido, I. H., & Correia, F. N. (1996). *Investigação Operacional*. Lisboa: McGraw-Hill.
- Tereso, A. P. (2002). *Gestão de Projectos: Alocação adaptativa de recursos em redes de actividades multimodais* (Tese de Doutoramento). Braga: Universidade do Minho.
<http://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/39>
- Tereso, A. P., Araújo, M. M., & Elmaghraby, S. E. (2004). *Adaptative resource allocation in multimodal activity networks*. *International Journal of Production Economics*, vol. 92, issue 1, pp. 1-10.

Anexos

Anexo I - Dados de projetos em análise

Rede 1	Atividade	1	2	3
	Nodo origem	1	2	1
	Nodo destino	2	3	3
	λ	0,2	0,1	0,07
	x (min)	0,5	0,5	0,5
	x (max)	1,5	1,5	1,5
	Due date	16		
	C(t)	2		

Rede 4	Atividade	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Nodo origem	1	1	1	2	2	3	3	4	5
	Nodo destino	2	6	3	4	3	4	5	6	6
	λ	0,04	0,01	0,07	0,035	0,05	0,06	0,05	0,06	0,04
	x (min)	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
	x (max)	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
	Due date	105								
	C(t)	4								

Rede 2	Atividade	1	2	3	4	5
	Nodo origem	1	2	3	3	3
	Nodo destino	2	3	3	4	4
	λ	0,02	0,03	0,04	0,024	0,03
	x (min)	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
	x (max)	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
	Due date	120				
	C(t)	8				

Rede 5	Atividade	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	Nodo origem	1	1	1	2	3	2	3	4	3	5	4
	Nodo destino	2	3	4	3	4	5	5	5	6	6	6
	λ	0,1	0,09	0,4	0,2	0,3	0,08	0,4	0,2	0,1	0,3	0,3
	x (min)	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
	x (max)	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
	Due date	28										
	C(t)	8										

Rede 3	Atividade	1	2	3	4	5	6	7
	Nodo origem	1	1	2	2	3	3	4
	Nodo destino	2	3	3	4	4	5	5
	λ	0,08	0,06	0,09	0,05	0,07	0,03	0,04
	x (min)	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
	x (max)	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
	Due date	66						
	C(t)	5						

Rede 6	Atividade	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	Nodo origem	1	1	1	2	2	2	3	4	4	5	6
	Nodo destino	2	3	4	3	5	6	6	5	7	7	7
	λ	0,1	0,12	0,05	0,08	0,2	0,04	0,03	0,04	0,02	0,15	0,16
	x (min)	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
	x (max)	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
	Due date	65										
	C(t)	5										

Anexo I - Dados de projetos em análise (cont.)

Rede 7	Atividade	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	Nodo origem	1	1	1	1	2	2	3	3	4	5	6	7
	Nodo destino	2	3	4	5	4	7	5	7	6	7	8	8
	λ	0,1	0,09	0,08	0,1	0,09	0,08	0,1	0,09	0,08	0,1	0,09	0,1
	x (min)	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
	x (max)	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
	Due date	47											
	C(t)	4											

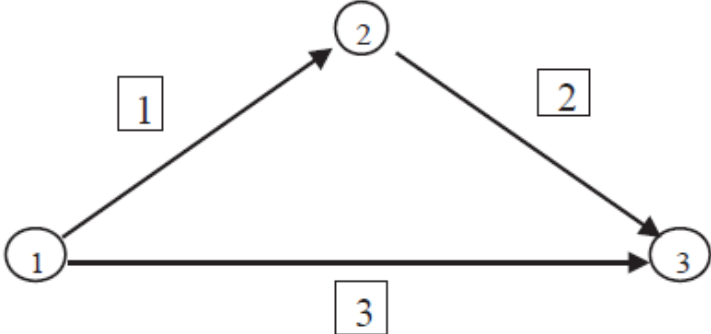
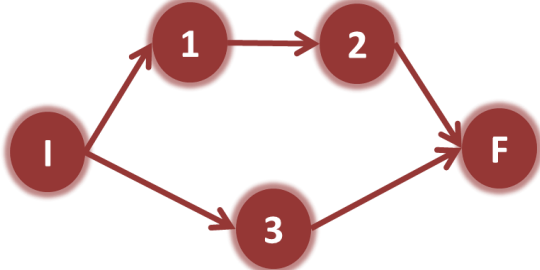
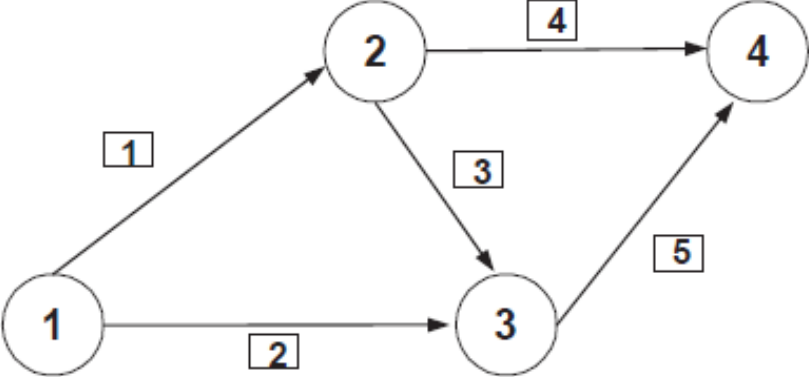
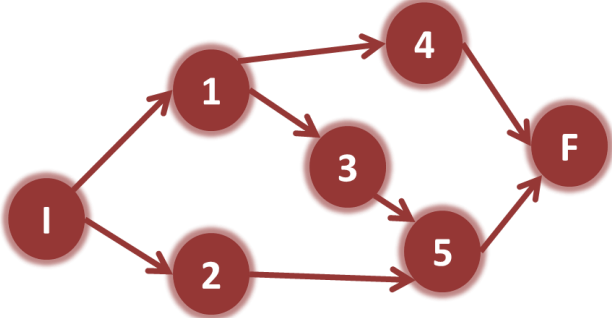
Rede 8	Atividade	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
	Nodo origem	1	1	1	1	2	2	3	3	3	4	2	6	5	4
	Nodo destino	2	3	4	6	4	6	6	5	4	5	7	7	7	7
	λ	0,2	0,25	0,16	0,2	0,1	0,16	0,5	0,25	0,2	0,08	0,09	0,1	0,125	0,1
	x (min)	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
	x (max)	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
	Due date	37													
	C(t)	3													

Rede 9	Atividade	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
	Nodo origem	1	1	1	2	2	3	3	4	4	5	6	7	8	9
	Nodo destino	2	3	4	5	6	5	6	7	8	9	9	10	10	10
	λ	0,02	0,03	0,04	0,025	0,04	0,045	0,05	0,06	0,03	0,02	0,02	0,02	0,025	0,03
	x (min)	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
	x (max)	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
	Due date	188													
	C(t)	6													

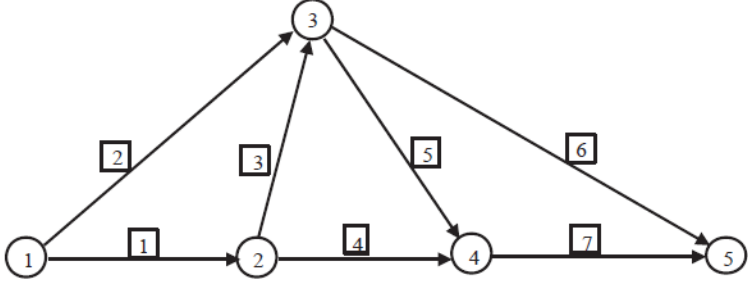
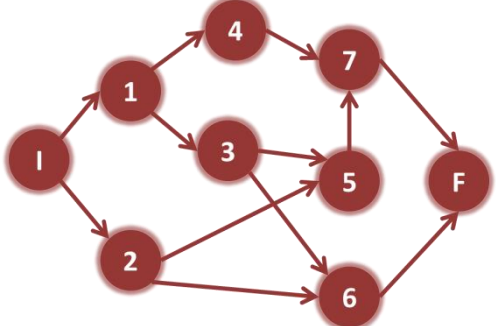
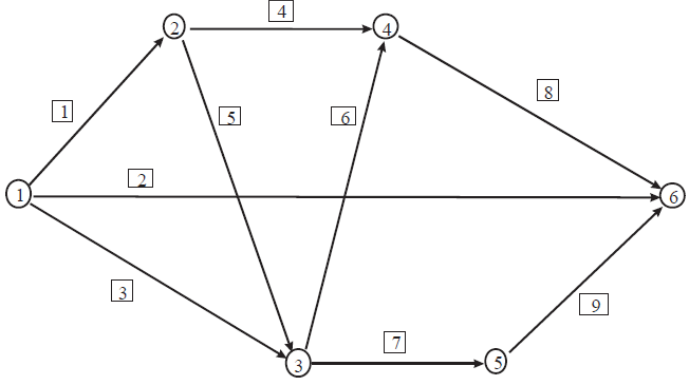
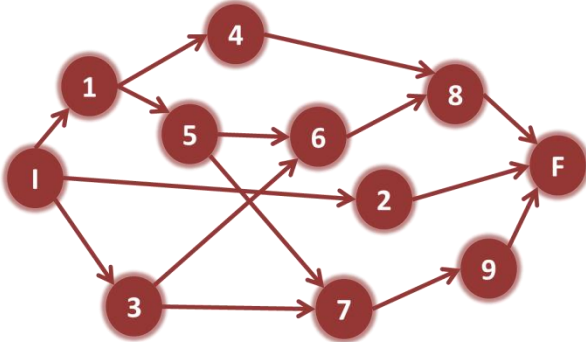
Rede 10	Atividade	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
	Nodo origem	1	1	2	3	2	3	4	4	5	5	5	6	7	7	7	8	9
	Nodo destino	2	3	4	4	6	5	5	7	6	7	9	8	8	9	10	10	10
	λ	0,167	0,1	0,2	0,1	0,25	0,2	0,1	0,33	0,33	0,25	0,5	0,167	0,143	0,5	0,125	0,167	0,11
	x (min)	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
	x (max)	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
	Due date	49																
	C(t)	7																

(fonte: <http://pessoais.dps.uminho.pt/anabelat/objectos/NetworksApril2004.pdf>)

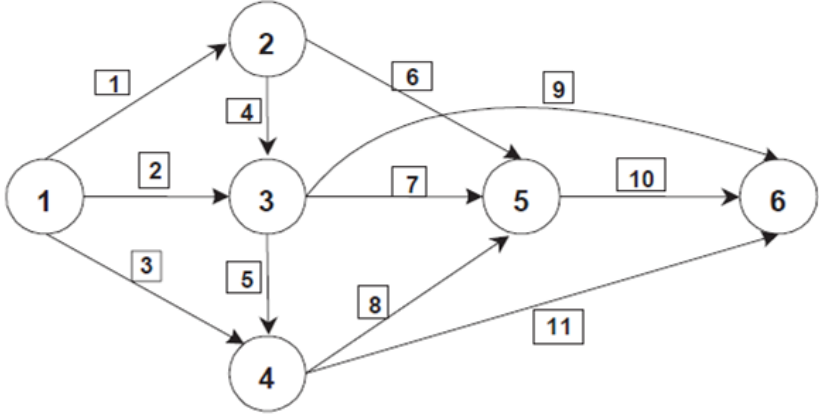
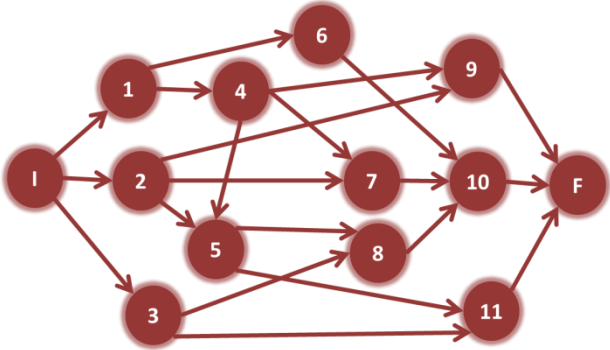
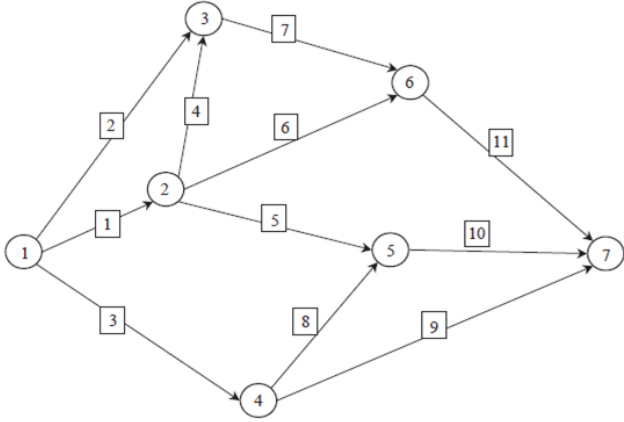
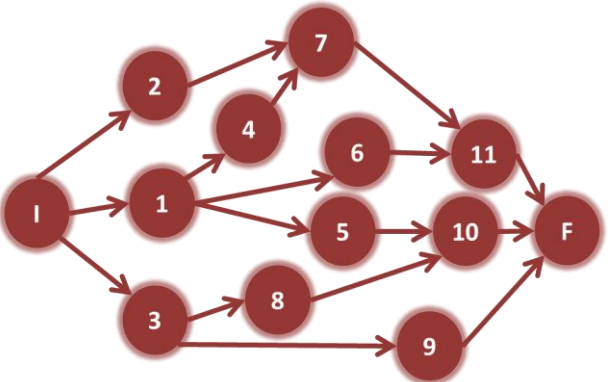
Anexo II - Conversão de redes

	<p>Rede AnA (dados Tereso <i>et al.</i> (2004))</p>	<p>AnN (convertidas)</p>
<p>Projeto 1</p>	 <pre> graph LR 1((1)) -- 1 --> 2((2)) 1((1)) -- 3 --> 3((3)) 2((2)) -- 2 --> 3((3)) </pre>	 <pre> graph LR I((I)) --> 1((1)) I((I)) --> 3((3)) 1((1)) --> 2((2)) 2((2)) --> F((F)) 3((3)) --> F((F)) </pre>
<p>Projeto 2</p>	 <pre> graph LR 1((1)) -- 1 --> 2((2)) 1((1)) -- 2 --> 3((3)) 2((2)) -- 3 --> 3((3)) 2((2)) -- 4 --> 4((4)) 3((3)) -- 5 --> 4((4)) </pre>	 <pre> graph LR I((I)) --> 1((1)) I((I)) --> 2((2)) 1((1)) --> 4((4)) 1((1)) --> 3((3)) 2((2)) --> 5((5)) 3((3)) --> 5((5)) 4((4)) --> F((F)) 5((5)) --> F((F)) </pre>

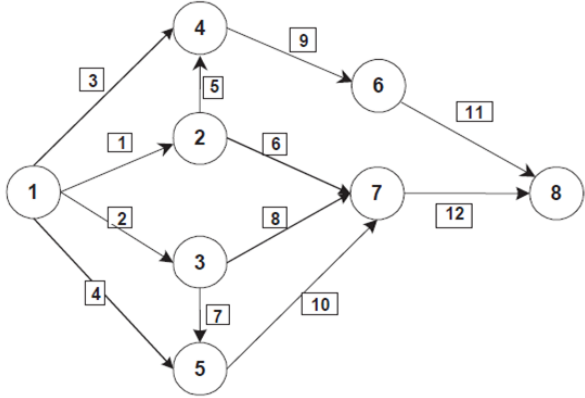
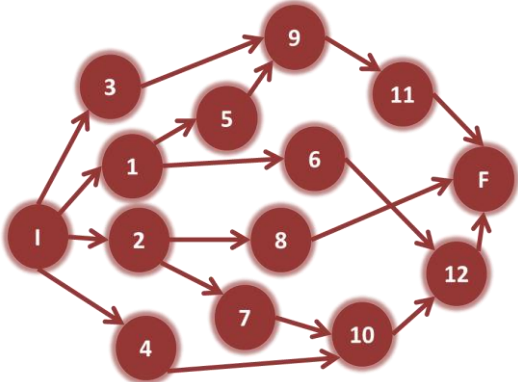
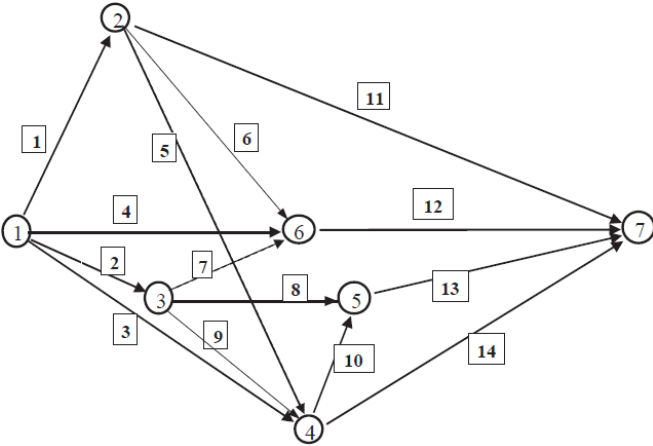
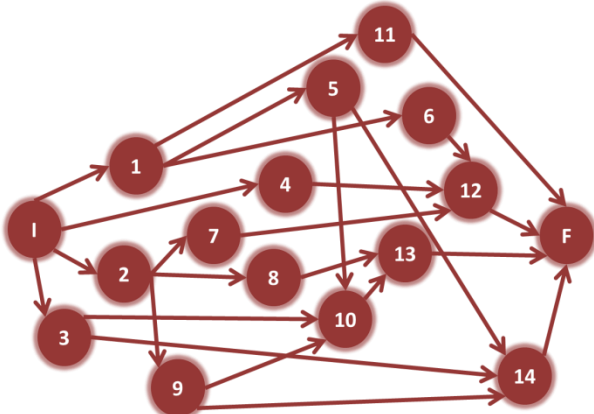
Anexo II - Conversão de redes (cont.)

	<p style="text-align: center;">Rede AoA (dados Tereso <i>et al.</i> (2004))</p>	<p style="text-align: center;">AnN (convertidas)</p>
<p style="text-align: center;">Projeto 3</p>		
<p style="text-align: center;">Projeto 4</p>		

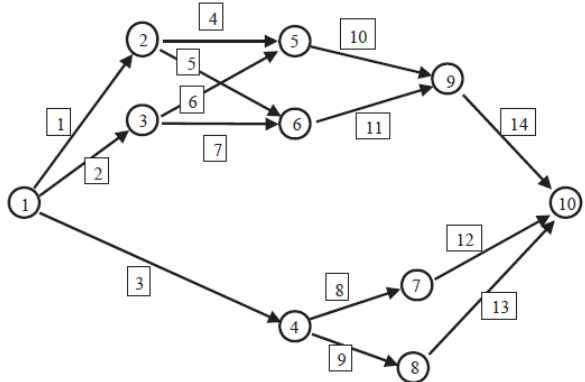
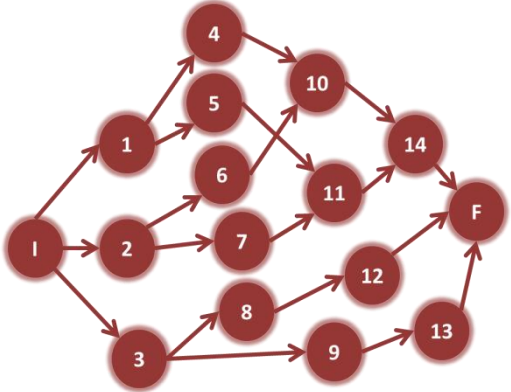
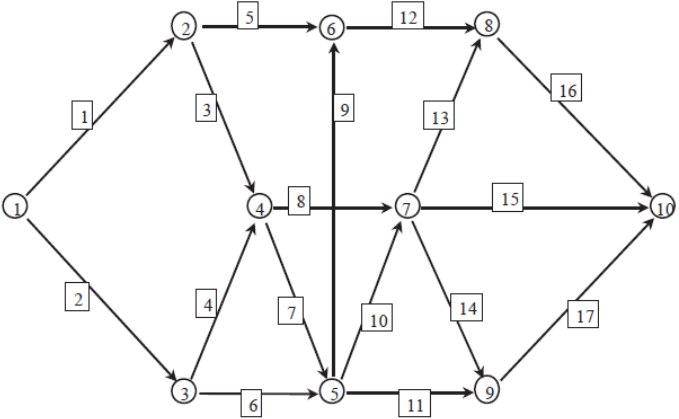
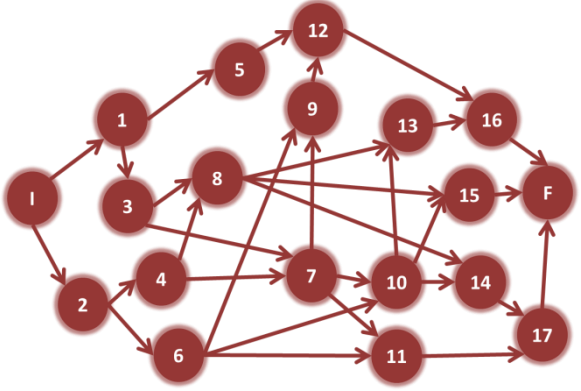
Anexo II - Conversão de redes (cont.)

	<p style="text-align: center;">Rede AoA (dados Tereso <i>et al.</i> (2004))</p>	<p style="text-align: center;">AnN (convertidas)</p>
<p style="text-align: center;">Projeto 5</p>		
<p style="text-align: center;">Projeto 6</p>		

Anexo II - Conversão de redes (cont.)

	<p style="text-align: center;">Rede AoA (dados Tereso <i>et al.</i> (2004))</p>	<p style="text-align: center;">AnN (convertidas)</p>
<p style="text-align: center;">Projeto 7</p>	 <pre> graph LR 1((1)) -- 1 --> 2((2)) 1((1)) -- 2 --> 3((3)) 1((1)) -- 3 --> 4((4)) 1((1)) -- 4 --> 5((5)) 2((2)) -- 5 --> 4((4)) 2((2)) -- 6 --> 7((7)) 3((3)) -- 7 --> 5((5)) 3((3)) -- 8 --> 7((7)) 4((4)) -- 9 --> 6((6)) 5((5)) -- 10 --> 7((7)) 6((6)) -- 11 --> 8((8)) 7((7)) -- 12 --> 8((8)) </pre>	 <pre> graph LR I((I)) -- 1 --> 1((1)) I((I)) -- 2 --> 2((2)) I((I)) -- 3 --> 3((3)) I((I)) -- 4 --> 4((4)) 1((1)) -- 5 --> 5((5)) 1((1)) -- 6 --> 6((6)) 2((2)) -- 7 --> 7((7)) 2((2)) -- 8 --> 8((8)) 3((3)) -- 9 --> 9((9)) 3((3)) -- 10 --> 10((10)) 4((4)) -- 11 --> 11((11)) 4((4)) -- 12 --> 12((12)) 5((5)) --> 6((6)) 6((6)) --> F((F)) 7((7)) --> 8((8)) 8((8)) --> F((F)) 9((9)) --> 10((10)) 10((10)) --> 11((11)) 11((11)) --> F((F)) 12((12)) --> F((F)) </pre>
<p style="text-align: center;">Projeto 8</p>	 <pre> graph LR 1((1)) -- 1 --> 2((2)) 1((1)) -- 2 --> 3((3)) 1((1)) -- 3 --> 4((4)) 1((1)) -- 4 --> 6((6)) 1((1)) -- 5 --> 7((7)) 2((2)) -- 6 --> 6((6)) 2((2)) -- 7 --> 3((3)) 2((2)) -- 8 --> 4((4)) 2((2)) -- 9 --> 5((5)) 3((3)) -- 10 --> 4((4)) 3((3)) -- 11 --> 7((7)) 4((4)) -- 12 --> 7((7)) 4((4)) -- 13 --> 5((5)) 5((5)) -- 14 --> 7((7)) </pre>	 <pre> graph LR I((I)) -- 1 --> 1((1)) I((I)) -- 2 --> 2((2)) I((I)) -- 3 --> 3((3)) I((I)) -- 4 --> 4((4)) I((I)) -- 5 --> 5((5)) I((I)) -- 6 --> 6((6)) I((I)) -- 7 --> 7((7)) I((I)) -- 8 --> 8((8)) I((I)) -- 9 --> 9((9)) I((I)) -- 10 --> 10((10)) I((I)) -- 11 --> 11((11)) 1((1)) -- 12 --> 12((12)) 1((1)) -- 13 --> 13((13)) 1((1)) -- 14 --> 14((14)) 2((2)) -- 15 --> 15((15)) 2((2)) -- 16 --> 16((16)) 2((2)) -- 17 --> 17((17)) 2((2)) -- 18 --> 18((18)) 3((3)) -- 19 --> 19((19)) 3((3)) -- 20 --> 20((20)) 4((4)) -- 21 --> 21((21)) 4((4)) -- 22 --> 22((22)) 5((5)) -- 23 --> 23((23)) 5((5)) -- 24 --> 24((24)) 6((6)) -- 25 --> 25((25)) 6((6)) -- 26 --> 26((26)) 7((7)) -- 27 --> 27((27)) 7((7)) -- 28 --> 28((28)) 8((8)) -- 29 --> 29((29)) 8((8)) -- 30 --> 30((30)) 9((9)) -- 31 --> 31((31)) 9((9)) -- 32 --> 32((32)) 10((10)) -- 33 --> 33((33)) 10((10)) -- 34 --> 34((34)) 11((11)) -- 35 --> 35((35)) 11((11)) -- 36 --> 36((36)) 12((12)) -- 37 --> 37((37)) 12((12)) -- 38 --> 38((38)) 13((13)) -- 39 --> 39((39)) 13((13)) -- 40 --> 40((40)) 14((14)) -- 41 --> 41((41)) 14((14)) -- 42 --> 42((42)) 15((15)) --> 16((16)) 16((16)) --> 17((17)) 17((17)) --> 18((18)) 18((18)) --> 19((19)) 19((19)) --> 20((20)) 20((20)) --> 21((21)) 21((21)) --> 22((22)) 22((22)) --> 23((23)) 23((23)) --> 24((24)) 24((24)) --> 25((25)) 25((25)) --> 26((26)) 26((26)) --> 27((27)) 27((27)) --> 28((28)) 28((28)) --> 29((29)) 29((29)) --> 30((30)) 30((30)) --> 31((31)) 31((31)) --> 32((32)) 32((32)) --> 33((33)) 33((33)) --> 34((34)) 34((34)) --> 35((35)) 35((35)) --> 36((36)) 36((36)) --> 37((37)) 37((37)) --> 38((38)) 38((38)) --> 39((39)) 39((39)) --> 40((40)) 40((40)) --> 41((41)) 41((41)) --> 42((42)) </pre>

Anexo II - Conversão de redes (cont.)

	<p style="text-align: center;">Rede AoA (dados Tereso <i>et al.</i> (2004))</p>	<p style="text-align: center;">AnN (convertidas)</p>
<p>Projeto 9</p>		
<p>Projeto 10</p>		

Anexo III – Cálculos: Método CPM

Projeto 1	Tarefa	Precedência	Cont.Trab.	Duração	ES	EF	LS	LF	Folga	Custo		
	I	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Duração	15,00
	1	I	5,00	5,00	0,00	5,00	0,00	5,00	0,00	5,00	Atraso	0
	2	1	10,00	10,00	5,00	15,00	5,00	15,00	0,00	10,00	Variância	-
	3	I	14,29	14,29	0,00	14,29	0,71	15,00	0,71	14,29	Desvio-padrão	-
	F	2,3	0,00	0,00	15,00	15,00	15,00	15,00	0,00	0,00	Custo total esp.	29,29
Projeto 2	Tarefa	Precedência	Cont.Trab.	Duração	ES	EF	LS	LF	Folga	Custo		
	I	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Duração	115,00
	1	I	50,00	50,00	0,00	50,00	0,00	50,00	0,00	50,00	Atraso	0
	2	I	33,33	33,33	0,00	33,33	41,67	75,00	41,67	33,33	Variância	-
	3	1	25,00	25,00	50,00	75,00	50,00	75,00	0,00	25,00	Desvio-padrão	-
	4	1	41,67	41,67	50,00	91,67	73,33	115,00	23,33	41,67	Custo total esp.	190
	5	2,3	40,00	40,00	75,00	115,00	75,00	115,00	0,00	40,00		
F	4,5	0,00	0,00	115,00	115,00	115,00	115,00	0,00	0,00			
Projeto 3	Tarefa	Precedência	Cont.Trab.	Duração	ES	EF	LS	LF	Folga	Custo		
	I	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Duração	62,90
	1	I	12,50	12,50	0,00	12,50	0,00	12,50	0,00	12,50	Atraso	0
	2	I	16,67	16,67	0,00	16,67	6,94	23,61	6,94	16,67	Variância	-
	3	1	11,11	11,11	12,50	23,61	12,50	23,61	0,00	11,11	Desvio-padrão	-
	4	1	20,00	20,00	12,50	32,50	17,90	37,90	5,40	20,00	Custo total esp.	132,90
	5	2,3	14,29	14,29	23,61	37,90	23,61	37,90	0,00	14,29		
	6	2,3	33,33	33,33	23,61	56,94	29,56	62,90	5,95	33,33		
7	4,5	25,00	25,00	37,90	62,90	37,90	62,90	0,00	25,00			
F	6,7	0,00	0,00	62,90	62,90	62,90	62,90	0,00	0,00			

Anexo III – Cálculos: Método CPM (cont.)

Projeto 4	Tarefa	Precedência	Cont.Trab.	Duração	ES	EF	LS	LF	Folga	Custo
	I	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	1	I	25,00	25,00	0,00	25,00	7,14	32,14	7,14	25,00
	2	I	100,00	100,00	0,00	100,00	0,00	100,00	0,00	100,00
	3	I	14,29	14,29	0,00	14,29	37,85	52,14	37,85	14,29
	4	1	28,57	28,57	25,00	53,57	54,76	83,33	29,76	28,57
	5	1	20,00	20,00	25,00	45,00	32,14	52,14	7,14	20,00
	6	3,5	16,67	16,67	45,00	61,67	66,67	83,33	21,67	16,67
	7	3,5	22,22	22,22	45,00	67,22	52,14	74,36	7,14	22,22
	8	4,6	16,67	16,67	61,67	78,33	83,33	100,00	21,67	16,67
	9	7	25,64	25,64	67,22	92,86	74,36	100,00	7,14	25,64
F	2,8,9	0,00	0,00	100,00	100,00	100,00	100,00	0,00	0,00	

Duração	100,00
Atraso	0
Variância	-
Desvio-padrão	-
Custo total esp.	269,05

Projeto 5	Tarefa	Precedência	Cont.Trab.	Duração	ES	EF	LS	LF	Folga	Custo
	I	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	1	I	10,00	10,00	0,00	10,00	0,00	10,00	0,00	10,00
	2	I	11,11	11,11	0,00	11,11	3,89	15,00	3,89	11,11
	3	I	2,50	2,50	0,00	2,50	15,83	18,33	15,83	2,50
	4	1	5,00	5,00	10,00	15,00	10,00	15,00	0,00	5,00
	5	2,4	3,33	3,33	15,00	18,33	15,00	18,33	0,00	3,33
	6	1	12,50	12,50	10,00	22,50	10,83	23,33	0,83	12,50
	7	2,4	2,50	2,50	15,00	17,50	20,83	23,33	5,83	2,50
	8	3,5	5,00	5,00	18,33	23,33	18,33	23,33	0,00	5,00
	9	2,4	10,00	10,00	15,00	25,00	16,67	26,67	1,67	10,00
	10	6,7,8	3,33	3,33	23,33	26,67	23,33	26,67	0,00	3,33
	11	3,5	3,33	3,33	18,33	21,67	23,33	26,67	5,00	3,33
F	9,10,11	0,00	0,00	26,67	26,67	26,67	26,67	0,00	0,00	

Duração	26,67
Atraso	0
Variância	-
Desvio-padrão	-
Custo total esp.	68,61

Anexo III – Cálculos: Método CPM (cont.)

Projeto 6	Tarefa	Precedência	Cont.Trab.	Duração	ES	EF	LS	LF	Folga	Custo		
	I	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
	1	I	10,00	10,00	0,00	10,00	0,00	10,00	0,00	10,00		
	2	I	8,33	8,33	0,00	8,33	14,17	22,50	14,17	8,33		
	3	I	20,00	20,00	0,00	20,00	0,42	20,42	0,42	20,00		
	4	1	12,50	12,50	10,00	22,50	10,00	22,50	0,00	12,50		Duração 62,08
	5	1	5,00	5,00	10,00	15,00	50,42	55,42	40,42	5,00		Atraso 0
	6	1	25,00	25,00	10,00	35,00	30,83	55,83	20,83	25,00		Variância -
	7	2,4	33,33	33,33	22,50	55,83	22,50	55,83	0,00	33,33		Desvio-padrão -
	8	3	25,00	25,00	20,00	45,00	30,42	55,42	10,42	25,00		Custo total esp. 193,75
	9	3	41,67	41,67	20,00	61,67	20,42	62,08	0,42	41,67		
	10	5,8	6,67	6,67	45,00	51,67	55,42	62,08	10,42	6,67		
11	6,7	6,25	6,25	55,83	62,08	55,83	62,08	0,00	6,25			
F	9,10,11	0,00	0,00	62,08	62,08	62,08	62,08	0,00	0,00			
Projeto 7	Tarefa	Precedência	Cont.Trab.	Duração	ES	EF	LS	LF	Folga	Custo		
	I	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
	1	I	10,00	10,00	0,00	10,00	0,00	10,00	0,00	10,00		
	2	I	11,11	11,11	0,00	11,11	3,61	14,72	3,61	11,11		
	3	I	12,50	12,50	0,00	12,50	8,61	21,11	8,61	12,50		
	4	I	10,00	10,00	0,00	10,00	14,72	24,72	14,72	10,00		Duração 44,72
	5	1	11,11	11,11	10,00	21,11	10,00	21,11	0,00	11,11		Atraso 0
	6	1	12,50	12,50	10,00	22,50	22,22	34,72	12,22	12,50		Variância -
	7	2	10,00	10,00	11,11	21,11	14,72	24,72	3,61	10,00		Desvio-padrão -
	8	2	11,11	11,11	11,11	22,22	33,61	44,72	22,50	11,11		Custo total esp. 131,94
	9	3,5	12,50	12,50	21,11	33,61	21,11	33,61	0,00	12,50		
	10	4,7	10,00	10,00	21,11	31,11	24,72	34,72	3,61	10,00		
11	9	11,11	11,11	33,61	44,72	33,61	44,72	0,00	11,11			
12	6,1	10,00	10,00	31,11	41,11	34,72	44,72	3,61	10,00			
F	8,11,12	0,00	0,00	44,72	44,72	44,72	44,72	0,00	0,00			

Anexo III – Cálculos: Método CPM (cont.)

Projeto 8	Tarefa	Precedência	Cont.Trab.	Duração	ES	EF	LS	LF	Folga	Custo
	I	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	1	I	5,00	5,00	0,00	5,00	0,00	5,00	0,00	5,00
	2	I	4,00	4,00	0,00	4,00	6,00	10,00	6,00	4,00
	3	I	6,25	6,25	0,00	6,25	8,75	15,00	8,75	6,25
	4	I	5,00	5,00	0,00	5,00	20,50	25,50	20,50	5,00
	5	1	10,00	10,00	5,00	15,00	5,00	15,00	0,00	10,00
	6	1	6,25	6,25	5,00	11,25	19,25	25,50	14,25	6,25
	7	2	2,00	2,00	4,00	6,00	23,50	25,50	19,50	2,00
	8	2	4,00	4,00	4,00	8,00	23,50	27,50	19,50	4,00
	9	2	5,00	5,00	4,00	9,00	10,00	15,00	6,00	5,00
	10	3,5,9	12,50	12,50	15,00	27,50	15,00	27,50	0,00	12,50
	11	1	11,11	11,11	5,00	16,11	24,39	35,50	19,39	11,11
	12	4,6,7	10,00	10,00	11,25	21,25	25,50	35,50	14,25	10,00
	13	8;10	8,00	8,00	27,50	35,50	27,50	35,50	0,00	8,00
	14	3,5,9	10,00	10,00	15,00	25,00	25,50	35,50	10,50	10,00
F	11,12,13,14	0,00	0,00	35,50	35,50	35,50	35,50	0,00	0,00	

Duração	35,50
Atraso	0
Variância	-
Desvio-padrão	-
Custo total esp.	99,11

Anexo III – Cálculos: Método CPM (cont.)

Projeto 9	Tarefa	Precedência	Cont.Trab.	Duração	ES	EF	LS	LF	Folga	Custo			
	I	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
	1	I	50,00	50,00	0,00	50,00	0,00	50,00	0,00	50,00			
	2	I	33,33	33,33	0,00	33,33	25,24	58,57	25,24	33,33			
	3	I	25,00	25,00	0,00	25,00	80,24	105,24	80,24	25,00			
	4	1	40,00	40,00	50,00	90,00	55,24	95,24	5,24	40,00			
	5	1	28,57	28,57	50,00	78,57	50,00	78,57	0,00	28,57		Duração	178,57
	6	2	22,22	22,22	33,33	55,56	73,02	95,24	39,68	22,22		Atraso	0
	7	2	20,00	20,00	33,33	53,33	58,57	78,57	25,24	20,00		Variância	-
	8	3	16,67	16,67	25,00	41,67	111,90	128,57	86,90	16,67		Desvio-padrão	-
	9	3	33,33	33,33	25,00	58,33	105,24	138,57	80,24	33,33		Custo total esp.	509,13
	10	4,6	50,00	50,00	90,00	140,00	95,24	145,24	5,24	50,00			
	11	5,7	66,67	66,67	78,57	145,24	78,57	145,24	0,00	66,67			
	12	8	50,00	50,00	41,67	91,67	128,57	178,57	86,90	50,00			
	13	9	40,00	40,00	58,33	98,33	138,57	178,57	80,24	40,00			
14	10,11	33,33	33,33	145,24	178,57	145,24	178,57	0,00	33,33				
F	12,13,14	0,00	0,00	178,57	178,57	178,57	178,57	0,00	0,00				

Anexo III – Cálculos: Método CPM (cont.)

Projeto 10	Tarefa	Precedência	Cont.Trab.	Duração	ES	EF	LS	LF	Folga	Custo			
	I	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
	1	I	5,99	5,99	0,00	5,99	9,01	15,00	9,01	5,99			
	2	I	10,00	10,00	0,00	10,00	0,00	10,00	0,00	10,00			
	3	1	5,00	5,00	5,99	10,99	15,00	20,00	9,01	5,00			
	4	2	10,00	10,00	10,00	20,00	10,00	20,00	0,00	10,00			
	5	1	4,00	4,00	5,99	9,99	31,00	35,00	25,02	4,00			
	6	2	5,00	5,00	10,00	15,00	25,00	30,00	15,00	5,00			
	7	3,4	10,00	10,00	20,00	30,00	20,00	30,00	0,00	10,00		Duração	46,98
	8	3,4	3,00	3,00	20,00	23,00	31,00	34,00	11,00	3,00		Atraso	0
	9	6,7	3,00	3,00	30,00	33,00	32,00	35,00	2,00	3,00		Variância	-
	10	6,7	4,00	4,00	30,00	34,00	30,00	34,00	0,00	4,00		Desvio-padrão	-
	11	6,7	2,00	2,00	30,00	32,00	35,89	37,89	5,89	2,00		Custo total esp.	100,05
	12	5,9	5,99	5,99	33,00	38,99	35,00	40,99	2,00	5,99			
	13	10,8	6,99	6,99	34,00	40,99	34,00	40,99	0,00	6,99			
	14	10,8	2,00	2,00	34,00	36,00	35,89	37,89	1,89	2,00			
	15	10,8	8,00	8,00	34,00	42,00	38,98	46,98	4,98	8,00			
16	12,13	5,99	5,99	40,99	46,98	40,99	46,98	0,00	5,99				
17	11,14	9,09	9,09	36,00	45,09	37,89	46,98	1,89	9,09				
F	15,16,17	0,00	0,00	46,98	46,98	46,98	46,98	0,00	0,00				

Anexo IV – Cálculos: Modelo PERT

Projeto 1	Tarefa	Prec.	a	m	b	Cont. Trab. Esp.	Var. Cont. Trab. Esp.	Dur. Esp.	Var.Dur. Esp.	ES	EF	LS	LF	Folga	Custo	Penalização Esp.		
	I	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Duração	15,00
1	I	2,50	5,00	7,50	5,00	0,69	5,00	0,69	0,00	5,00	0,00	5,00	0,00	5,00	0,00	5,00	Atraso	0,35
2	1	5,00	10,00	15,00	10,00	2,78	10,00	2,78	5,00	15,00	5,00	15,00	0,00	10,00	0,00	10,00	Variância	3,47
3	I	7,14	14,29	21,43	14,29	5,67	14,29	5,67	0,00	14,29	0,71	15,00	0,71	14,29	0,00	14,29	Desvio-padrão	1,86
F	2,3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	15,00	15,00	15,00	15,00	0,00	0,00	0,00	Custo Total Esp.	29,98	

Projeto 2	Tarefa	Prec.	a	m	b	Cont. Trab. Esp.	Var. Cont. Trab. Esp.	Dur. Esp.	Var.Dur. Esp.	ES	EF	LS	LF	Folga	Custo	Penalização Esp.		
	I	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
1	I	25,00	50,00	75,00	50,00	69,44	50,00	69,44	0,00	50,00	0,00	50,00	0,00	50,00	0,00	50,00	Penalização Esp.	19,99
2	I	16,67	33,33	50,00	33,33	30,86	33,33	30,86	0,00	33,33	41,67	75,00	41,67	33,33	0,00	33,33	Duração	115,00
3	1	12,50	25,00	37,50	25,00	17,36	25,00	17,36	50,00	75,00	50,00	75,00	0,00	25,00	0,00	25,00	Atraso	2,50
4	1	20,83	41,67	62,50	41,67	48,23	41,67	48,23	50,00	91,67	73,33	115,00	23,33	41,67	0,00	41,67	Variância	131,25
5	2,3	20,00	40,00	60,00	40,00	44,44	40,00	44,44	75,00	115,00	75,00	115,00	0,00	40,00	0,00	40,00	Desvio-padrão	11,46
F	4,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	115,00	115,00	115,00	115,00	0,00	0,00	0,00	Custo Total Esp.	209,99	

Projeto 3	Tarefa	Prec.	a	m	b	Cont. Trab. Esp.	Var. Cont. Trab. Esp.	Dur. Esp.	Var.Dur. Esp.	ES	EF	LS	LF	Folga	Custo	Penalização Esp.		
	I	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
1	I	6,25	12,50	18,75	12,50	4,34	12,50	4,34	0,00	12,50	0,00	12,50	0,00	12,50	0,00	12,50		
2	I	8,33	16,67	25,00	16,67	7,72	16,67	7,72	0,00	16,67	6,94	23,61	6,94	16,67	0,00	16,67	Penalização Esp.	1,76
3	1	5,56	11,11	16,67	11,11	3,43	11,11	3,43	12,50	23,61	12,50	23,61	0,00	11,11	0,00	11,11	Duração	62,90
4	1	10,00	20,00	30,00	20,00	11,11	20,00	11,11	12,50	32,50	17,90	37,90	5,40	20,00	0,00	20,00	Atraso	0,35
5	2,3	7,14	14,29	21,43	14,29	5,67	14,29	5,67	23,61	37,90	23,61	37,90	0,00	14,29	0,00	14,29	Variância	12,06
6	2,3	16,67	33,33	50,00	33,33	30,86	33,33	30,86	23,61	56,94	29,56	62,90	5,95	33,33	0,00	33,33	Desvio-padrão	3,47
7	4,5	12,50	25,00	37,50	25,00	17,36	25,00	17,36	37,90	62,90	37,90	62,90	0,00	25,00	0,00	25,00	Custo Total Esp.	134,66
F	6,7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	62,90	62,90	62,90	62,90	0,00	0,00	0,00			

Anexo IV – Cálculos: Modelo PERT (cont.)

Projeto 4	Tarefa	Prec.	a	m	b	Cont. Trab. Esp.	Var. Cont. Trab. Esp.	Dur. Esp.	Var.Dur.Esp.	ES	EF	LS	LF	Folga	Custo	
	I	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	1	I	12,50	25,00	37,50	25,00	17,36	25,00	17,36	0,00	25,00	7,14	32,14	7,14	25,00	
	2	I	50,00	100,00	150,00	100,00	277,78	100,00	277,78	0,00	100,00	0,00	100,00	0,00	100,00	Penalização Esp. 17,78
	3	I	7,14	14,29	21,43	14,29	5,67	14,29	5,67	0,00	14,29	37,85	52,14	37,85	14,29	
	4	1	14,29	28,57	42,86	28,57	22,68	28,57	22,68	25,00	53,57	54,76	83,33	29,76	28,57	Duração 100,00
	5	1	10,00	20,00	30,00	20,00	11,11	20,00	11,11	25,00	45,00	32,14	52,14	7,14	20,00	Atraso 4,45
	6	3,5	8,33	16,67	25,00	16,67	7,72	16,67	7,72	45,00	61,67	66,67	83,33	21,67	16,67	Variância 277,78
	7	3,5	11,11	22,22	33,33	22,22	13,72	22,22	13,72	45,00	67,22	52,14	74,36	7,14	22,22	Desvio-padrão 16,67
	8	4,6	8,33	16,67	25,00	16,67	7,72	16,67	7,72	61,67	78,33	83,33	100,00	21,67	16,67	Custo Total Esp. 286,84
9	7	12,82	25,64	38,46	25,64	18,26	25,64	18,26	67,22	92,86	74,36	100,00	7,14	25,64		
F	2,8,9	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00	100,00	100,00	0,00	0,00		
Projeto 5	Tarefa	Prec.	a	m	b	Cont. Trab. Esp.	Var. Cont. Trab. Esp.	Dur. Esp.	Var.Dur.Esp.	ES	EF	LS	LF	Folga	Custo	
	I	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
	1	I	5,00	10,00	15,00	10,00	2,78	10,00	2,78	0,00	10,00	0,00	10,00	0,00	10,00	
	2	I	5,56	11,11	16,67	11,11	3,43	11,11	3,43	0,00	11,11	3,89	15,00	3,89	11,11	Penalização Esp. 2,91
	3	I	1,25	2,50	3,75	2,50	0,17	2,50	0,17	0,00	2,50	15,83	18,33	15,83	2,50	
	4	1	2,50	5,00	7,50	5,00	0,69	5,00	0,69	10,00	15,00	10,00	15,00	0,00	5,00	Duração 26,67
	5	2,4	1,67	3,33	5,00	3,33	0,31	3,33	0,31	15,00	18,33	15,00	18,33	0,00	3,33	Atraso 0,36
	6	1	6,25	12,50	18,75	12,50	4,34	12,50	4,34	10,00	22,50	10,83	23,33	0,83	12,50	Variância 4,78
	7	2,4	1,25	2,50	3,75	2,50	0,17	2,50	0,17	15,00	17,50	20,83	23,33	5,83	2,50	Desvio-padrão 2,19
	8	3,5	2,50	5,00	7,50	5,00	0,69	5,00	0,69	18,33	23,33	18,33	23,33	0,00	5,00	Custo Total Esp. 71,52
	9	2,4	5,00	10,00	15,00	10,00	2,78	10,00	2,78	15,00	25,00	16,67	26,67	1,67	10,00	
10	6,7,8	1,67	3,33	5,00	3,33	0,31	3,33	0,31	23,33	26,67	23,33	26,67	0,00	3,33		
11	3,5	1,67	3,33	5,00	3,33	0,31	3,33	0,31	18,33	21,67	23,33	26,67	5,00	3,33		
F	9,10,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	26,67	26,67	26,67	26,67	0,00	0,00		

Anexo IV – Cálculos: Modelo PERT (cont.)

	Projeto 6															
	Tarefa	Prec.	a	m	b	Cont. Trab. Esp.	Var. Cont. Trab. Esp.	Dur. Esp.	Var.Dur.Esp.	ES	EF	LS	LF	Folga	Custo	
	I	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
	1	I	5,00	10,00	15,00	10,00	2,78	10,00	2,78	0,00	10,00	0,00	10,00	0,00	10,00	
	2	I	4,17	8,33	12,50	8,33	1,93	8,33	1,93	0,00	8,33	14,17	22,50	14,17	8,33	
	3	I	10,00	20,00	30,00	20,00	11,11	20,00	11,11	0,00	20,00	0,42	20,42	0,42	20,00	
	4	1	6,25	12,50	18,75	12,50	4,34	12,50	4,34	10,00	22,50	10,00	22,50	0,00	12,50	
	5	1	2,50	5,00	7,50	5,00	0,69	5,00	0,69	10,00	15,00	50,42	55,42	40,42	5,00	
	6	1	12,50	25,00	37,50	25,00	17,36	25,00	17,36	10,00	35,00	30,83	55,83	20,83	25,00	
	7	2,4	16,67	33,33	50,00	33,33	30,86	33,33	30,86	22,50	55,83	22,50	55,83	0,00	33,33	
	8	3	12,50	25,00	37,50	25,00	17,36	25,00	17,36	20,00	45,00	30,42	55,42	10,42	25,00	
	9	3	20,83	41,67	62,50	41,67	48,23	41,67	48,23	20,00	61,67	20,42	62,08	0,42	41,67	
	10	5,8	3,33	6,67	10,00	6,67	1,23	6,67	1,23	45,00	51,67	55,42	62,08	10,42	6,67	
	11	6,7	3,13	6,25	9,38	6,25	1,09	6,25	1,09	55,83	62,08	55,83	62,08	0,00	6,25	
	F	9,10,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	62,08	62,08	62,08	62,08	0,00	0,00	
															Penalização Esp.	6,51
															Duração	62,08
															Atraso	1,30
															Variância	39,07
															Desvio-padrão	6,25
															Custo Total Esp.	200,26
	Projeto 7															
	Tarefa	Prec.	a	m	b	Cont. Trab. Esp.	Var. Cont. Trab. Esp.	Dur. Esp.	Var.Dur.Esp.	ES	EF	LS	LF	Folga	Custo	
	I	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
	1	I	5,00	10,00	15,00	10,00	2,78	10,00	2,78	0,00	10,00	0,00	10,00	0,00	10,00	
	2	I	5,56	11,11	16,67	11,11	3,43	11,11	3,43	0,00	11,11	3,61	14,72	3,61	11,11	
	3	I	6,25	12,50	18,75	12,50	4,34	12,50	4,34	0,00	12,50	8,61	21,11	8,61	12,50	
	4	I	5,00	10,00	15,00	10,00	2,78	10,00	2,78	0,00	10,00	14,72	24,72	14,72	10,00	
	5	1	5,56	11,11	16,67	11,11	3,43	11,11	3,43	10,00	21,11	10,00	21,11	0,00	11,11	
	6	1	6,25	12,50	18,75	12,50	4,34	12,50	4,34	10,00	22,50	22,22	34,72	12,22	12,50	
	7	2	5,00	10,00	15,00	10,00	2,78	10,00	2,78	11,11	21,11	14,72	24,72	3,61	10,00	
	8	2	5,56	11,11	16,67	11,11	3,43	11,11	3,43	11,11	22,22	33,61	44,72	22,50	11,11	
	9	3,5	6,25	12,50	18,75	12,50	4,34	12,50	4,34	21,11	33,61	21,11	33,61	0,00	12,50	
	10	4,7	5,00	10,00	15,00	10,00	2,78	10,00	2,78	21,11	31,11	24,72	34,72	3,61	10,00	
	11	9	5,56	11,11	16,67	11,11	3,43	11,11	3,43	33,61	44,72	33,61	44,72	0,00	11,11	
	12	6,1	5,00	10,00	15,00	10,00	2,78	10,00	2,78	31,11	41,11	34,72	44,72	3,61	10,00	
	F	8,11,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	44,72	44,72	44,72	44,72	0,00	0,00	
															Penalização Esp.	2,48
															Duração	44,72
															Atraso	0,62
															Variância	13,98
															Desvio-padrão	3,74
															Custo Total Esp.	134,43

Anexo IV – Cálculos: Modelo PERT (cont.)

Projeto 8	Tarefa	Prec.	a	m	b	Cont. Trab. Esp.	Var. Cont. Trab. Esp.	Dur. Esp.	Var.Dur.Esp.	ES	EF	LS	LF	Folga	Custo	
	I	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	1	I	2,50	5,00	7,50	5,00	0,69	5,00	0,69	0,00	5,00	0,00	5,00	0,00	5,00	
	2	I	2,00	4,00	6,00	4,00	0,44	4,00	0,44	0,00	4,00	6,00	10,00	6,00	4,00	
	3	I	3,13	6,25	9,38	6,25	1,09	6,25	1,09	0,00	6,25	8,75	15,00	8,75	6,25	
	4	I	2,50	5,00	7,50	5,00	0,69	5,00	0,69	0,00	5,00	20,50	25,50	20,50	5,00	
	5	1	5,00	10,00	15,00	10,00	2,78	10,00	2,78	5,00	15,00	5,00	15,00	0,00	10,00	
	6	1	3,13	6,25	9,38	6,25	1,09	6,25	1,09	5,00	11,25	19,25	25,50	14,25	6,25	
	7	2	1,00	2,00	3,00	2,00	0,11	2,00	0,11	4,00	6,00	23,50	25,50	19,50	2,00	
	8	2	2,00	4,00	6,00	4,00	0,44	4,00	0,44	4,00	8,00	23,50	27,50	19,50	4,00	
	9	2	2,50	5,00	7,50	5,00	0,69	5,00	0,69	4,00	9,00	10,00	15,00	6,00	5,00	
	10	3,5,9	6,25	12,50	18,75	12,50	4,34	12,50	4,34	15,00	27,50	15,00	27,50	0,00	12,50	
	11	1	5,56	11,11	16,67	11,11	3,43	11,11	3,43	5,00	16,11	24,39	35,50	19,39	11,11	
	12	4,6,7	5,00	10,00	15,00	10,00	2,78	10,00	2,78	11,25	21,25	25,50	35,50	14,25	10,00	
	13	8;10	4,00	8,00	12,00	8,00	1,78	8,00	1,78	27,50	35,50	27,50	35,50	0,00	8,00	
14	3,5,9	5,00	10,00	15,00	10,00	2,78	10,00	2,78	15,00	25,00	25,50	35,50	10,50	10,00		
F	11,12,13,14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	35,50	35,50	35,50	35,50	0,00	0,00	

Penalização Esp.	1,88
Duração	35,50
Atraso	0,63
Variância	9,59
Desvio-padrão	3,10
Custo Total Esp.	100,99

Anexo IV – Cálculos: Modelo PERT (cont.)

Projeto 9	Tarefa	Prec.	a	m	b	Cont. Trab. Esp.	Var. Cont. Trab. Esp.	Dur. Esp.	Var.Dur.Esp.	ES	EF	LS	LF	Folga	Custo	
	I	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	1	I	25,00	50,00	75,00	50,00	69,44	50,00	69,44	0,00	50,00	0,00	50,00	0,00	50,00	
	2	I	16,67	33,33	50,00	33,33	30,86	33,33	30,86	0,00	33,33	25,24	58,57	25,24	33,33	
	3	I	12,50	25,00	37,50	25,00	17,36	25,00	17,36	0,00	25,00	80,24	105,24	80,24	25,00	
	4	1	20,00	40,00	60,00	40,00	44,44	40,00	44,44	50,00	90,00	55,24	95,24	5,24	40,00	
	5	1	14,29	28,57	42,86	28,57	22,68	28,57	22,68	50,00	78,57	50,00	78,57	0,00	28,57	
	6	2	11,11	22,22	33,33	22,22	13,72	22,22	13,72	33,33	55,56	73,02	95,24	39,68	22,22	
	7	2	10,00	20,00	30,00	20,00	11,11	20,00	11,11	33,33	53,33	58,57	78,57	25,24	20,00	
	8	3	8,33	16,67	25,00	16,67	7,72	16,67	7,72	25,00	41,67	111,90	128,57	86,90	16,67	
	9	3	16,67	33,33	50,00	33,33	30,86	33,33	30,86	25,00	58,33	105,24	138,57	80,24	33,33	
	10	4,6	25,00	50,00	75,00	50,00	69,44	50,00	69,44	90,00	140,00	95,24	145,24	5,24	50,00	
	11	5,7	33,33	66,67	100,00	66,67	123,46	66,67	123,46	78,57	145,24	78,57	145,24	0,00	66,67	
	12	8	25,00	50,00	75,00	50,00	69,44	50,00	69,44	41,67	91,67	128,57	178,57	86,90	50,00	
	13	9	20,00	40,00	60,00	40,00	44,44	40,00	44,44	58,33	98,33	138,57	178,57	80,24	40,00	
	14	10,11	16,67	33,33	50,00	33,33	30,86	33,33	30,86	145,24	178,57	145,24	178,57	0,00	33,33	
	F	12,13,14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	178,57	178,57	178,57	178,57	0,00	0,00	

Penalização Esp.	15,87
Duração	178,57
Atraso	2,65
Variância	246,44
Desvio-padrão	15,70
Custo Total Esp.	525,00

Anexo IV – Cálculos: Modelo PERT (cont.)

Projeto 10	Tarefa	Prec.	a	m	b	Cont. Trab. Esp.	Var. Cont. Trab. Esp.	Dur. Esp.	Var.Dur.Esp.	ES	EF	LS	LF	Folga	Custo	
	I	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	1	I	2,99	5,99	8,98	5,99	1,00	5,99	1,00	0,00	5,99	9,01	15,00	9,01	5,99	
	2	I	5,00	10,00	15,00	10,00	2,78	10,00	2,78	0,00	10,00	0,00	10,00	0,00	10,00	Penalização Esp. 3,91
	3	1	2,50	5,00	7,50	5,00	0,69	5,00	0,69	5,99	10,99	15,00	20,00	9,01	5,00	
	4	2	5,00	10,00	15,00	10,00	2,78	10,00	2,78	10,00	20,00	10,00	20,00	0,00	10,00	Duração 46,98
	5	1	2,00	4,00	6,00	4,00	0,44	4,00	0,44	5,99	9,99	31,00	35,00	25,02	4,00	Atraso 0,56
	6	2	2,50	5,00	7,50	5,00	0,69	5,00	0,69	10,00	15,00	25,00	30,00	15,00	5,00	Variância 11,13
	7	3,4	5,00	10,00	15,00	10,00	2,78	10,00	2,78	20,00	30,00	20,00	30,00	0,00	10,00	Desvio-padrão 3,34
	8	3,4	1,50	3,00	4,50	3,00	0,25	3,00	0,25	20,00	23,00	31,00	34,00	11,00	3,00	Custo Total Esp. 103,96
	9	6,7	1,50	3,00	4,50	3,00	0,25	3,00	0,25	30,00	33,00	32,00	35,00	2,00	3,00	
	10	6,7	2,00	4,00	6,00	4,00	0,44	4,00	0,44	30,00	34,00	30,00	34,00	0,00	4,00	
	11	6,7	1,00	2,00	3,00	2,00	0,11	2,00	0,11	30,00	32,00	35,89	37,89	5,89	2,00	
	12	5,9	2,99	5,99	8,98	5,99	1,00	5,99	1,00	33,00	38,99	35,00	40,99	2,00	5,99	
	13	10,8	3,50	6,99	10,49	6,99	1,36	6,99	1,36	34,00	40,99	34,00	40,99	0,00	6,99	
	14	10,8	1,00	2,00	3,00	2,00	0,11	2,00	0,11	34,00	36,00	35,89	37,89	1,89	2,00	
	15	10,8	4,00	8,00	12,00	8,00	1,78	8,00	1,78	34,00	42,00	38,98	46,98	4,98	8,00	
	16	12,13	2,99	5,99	8,98	5,99	1,00	5,99	1,00	40,99	46,98	40,99	46,98	0,00	5,99	
	17	11,14	4,55	9,09	13,64	9,09	2,30	9,09	2,30	36,00	45,09	37,89	46,98	1,89	9,09	
	F	15,16,17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	46,98	46,98	46,98	46,98	0,00	0,00

Anexo V – Cálculos: Simulação de Monte Carlo com distribuição betapert simétrica

Projeto 1	Tarefa	Preced.	a	m	b	Cont. Trab. Esp.	Dur. Esp.	ES	EF	LS	LF	Folga	Custo		
	I	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Duração
1	I	2,50	5,00	7,50	5,00	5,00	5,00	0,00	5,00	0,00	5,00	0,00	5,00	Atraso	0,81
2	1	5,00	10,00	15,00	10,00	10,00	10,00	5,00	15,00	5,00	15,00	0,00	10,00	Variância	3,57
3	I	7,14	14,29	21,43	14,29	14,29	14,29	0,00	14,29	0,71	15,00	0,71	14,29	Desvio-padrão	1,89
F	2,3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	15,00	15,00	15,00	15,00	0,00	0,00	Custo Total Esp.	31,03
Projeto 2	Tarefa	Preced.	a	m	b	Cont. Trab. Esp.	Dur. Esp.	ES	EF	LS	LF	Folga	Custo		
	I	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Duração
1	I	25,00	50,00	75,00	50,00	50,00	50,00	0,00	50,00	0,00	50,00	0,00	50,00	Atraso	3,27
2	I	16,67	33,33	50,00	33,33	33,33	33,33	0,00	33,33	41,67	75,00	41,67	33,33	Variância	174,01
3	1	12,50	25,00	37,50	25,00	25,00	25,00	50,00	75,00	50,00	75,00	0,00	25,00	Desvio-padrão	13,19
4	1	20,83	41,67	62,50	41,67	41,67	41,67	50,00	91,67	73,33	115,00	23,33	41,67	Custo Total Esp.	216,77
5	2,3	20,00	40,00	60,00	40,00	40,00	40,00	75,00	115,00	75,00	115,00	0,00	40,00		
F	4,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	115,00	115,00	115,00	115,00	0,00	0,00		
Projeto 3	Tarefa	Preced.	a	m	b	Cont. Trab. Esp.	Dur. Esp.	ES	EF	LS	LF	Folga	Custo		
	I	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Duração
1	I	6,25	12,50	18,75	12,50	12,50	12,50	0,00	12,50	0,00	12,50	0,00	12,50	Atraso	1,65
2	I	8,33	16,67	25,00	16,67	16,67	16,67	0,00	16,67	6,94	23,61	6,94	16,67	Variância	32,07
3	1	5,56	11,11	16,67	11,11	11,11	11,11	12,50	23,61	12,50	23,61	0,00	11,11	Desvio-padrão	5,66
4	1	10,00	20,00	30,00	20,00	20,00	20,00	12,50	32,50	17,90	37,90	5,40	20,00	Custo Total Esp.	141,60
5	2,3	7,14	14,29	21,43	14,29	14,29	14,29	23,61	37,90	23,61	37,90	0,00	14,29		
6	2,3	16,67	33,33	50,00	33,33	33,33	33,33	23,61	56,94	29,56	62,90	5,95	33,33		
7	4,5	12,50	25,00	37,50	25,00	25,00	25,00	37,90	62,90	37,90	62,90	0,00	25,00		
F	6,7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	62,90	62,90	62,90	62,90	0,00	0,00		

Anexo V – Cálculos: Simulação de Monte Carlo com distribuição betapert simétrica (cont.)

Projeto 4	Tarefa	Prec.	a	m	b	Cont. Trab. Esp.	Dur. Esp.	ES	EF	LS	LF	Folga	Custo				
	I	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
	1	I	12,50	25,00	37,50	25,00	25,00	0,00	25,00	7,14	32,14	7,14	25,00				
	2	I	50,00	100,00	150,00	100,00	100,00	0,00	100,00	0,00	100,00	0,00	100,00				
	3	I	7,14	14,29	21,43	14,29	14,29	0,00	14,29	37,85	52,14	37,85	14,29				
	4	1	14,29	28,57	42,86	28,57	28,57	25,00	53,57	54,76	83,33	29,76	28,57				
	5	1	10,00	20,00	30,00	20,00	20,00	25,00	45,00	32,14	52,14	7,14	20,00				
	6	3,5	8,33	16,67	25,00	16,67	16,67	45,00	61,67	66,67	83,33	21,67	16,67				
	7	3,5	11,11	22,22	33,33	22,22	22,22	45,00	67,22	52,14	74,36	7,14	22,22				
	8	4,6	8,33	16,67	25,00	16,67	16,67	61,67	78,33	83,33	100,00	21,67	16,67				
9	7	12,82	25,64	38,46	25,64	25,64	67,22	92,86	74,36	100,00	7,14	25,64					
F	2,8,9	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00	100,00	100,00	0,00	0,00				
		Duração												106,24			
		Atraso												6,38			
		Variância												199,01			
		Desvio-padrão												14,11			
		Custo Total Esp.												295,66			
Projeto 5	Tarefa	Prec.	a	m	b	Cont. Trab. Esp.	Dur. Esp.	ES	EF	LS	LF	Folga	Custo				
	I	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
	1	I	5,00	10,00	15,00	10,00	10,00	0,00	10,00	0,00	10,00	0,00	10,00	0,00	10,00		
	2	I	5,56	11,11	16,67	11,11	11,11	0,00	11,11	3,89	15,00	3,89	11,11				
	3	I	1,25	2,50	3,75	2,50	2,50	0,00	2,50	15,83	18,33	15,83	2,50				
	4	1	2,50	5,00	7,50	5,00	5,00	10,00	15,00	10,00	15,00	0,00	5,00				
	5	2,4	1,67	3,33	5,00	3,33	3,33	15,00	18,33	15,00	18,33	0,00	3,33				
	6	1	6,25	12,50	18,75	12,50	12,50	10,00	22,50	10,83	23,33	0,83	12,50				
	7	2,4	1,25	2,50	3,75	2,50	2,50	15,00	17,50	20,83	23,33	5,83	2,50				
	8	3,5	2,50	5,00	7,50	5,00	5,00	18,33	23,33	18,33	23,33	0,00	5,00				
	9	2,4	5,00	10,00	15,00	10,00	10,00	10,00	15,00	25,00	16,67	26,67	1,67	10,00			
	10	6,7,8	1,67	3,33	5,00	3,33	3,33	23,33	26,67	23,33	26,67	0,00	3,33				
	11	3,5	1,67	3,33	5,00	3,33	3,33	18,33	21,67	23,33	26,67	5,00	3,33				
F	9,10,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	26,67	26,67	26,67	26,67	0,00	0,00				
		Duração												27,87			
		Atraso												0,89			
		Variância												5,48			
		Desvio-padrão												2,34			
		Custo Total Esp.												75,94			

Anexo V – Cálculos: Simulação de Monte Carlo com distribuição betapert simétrica (cont.)

Projeto 6	Tarefa	Prec.	a	m	b	Cont. Trab. Esp.	Dur. Esp.	ES	EF	LS	LF	Folga	Custo	
	I	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	1	I	5,00	10,00	15,00	10,00	10,00	0,00	10,00	0,00	10,00	10,00	0,00	10,00
	2	I	4,17	8,33	12,50	8,33	8,33	0,00	8,33	14,17	22,50	14,17	8,33	
	3	I	10,00	20,00	30,00	20,00	20,00	0,00	20,00	0,42	20,42	20,42	0,42	20,00
	4	1	6,25	12,50	18,75	12,50	12,50	10,00	22,50	10,00	22,50	22,50	0,00	12,50
	5	1	2,50	5,00	7,50	5,00	5,00	10,00	15,00	50,42	55,42	40,42	5,00	
	6	1	12,50	25,00	37,50	25,00	25,00	10,00	35,00	30,83	55,83	20,83	25,00	
	7	2,4	16,67	33,33	50,00	33,33	33,33	22,50	55,83	22,50	55,83	0,00	33,33	
	8	3	12,50	25,00	37,50	25,00	25,00	20,00	45,00	30,42	55,42	10,42	25,00	
	9	3	20,83	41,67	62,50	41,67	41,67	20,00	61,67	20,42	62,08	0,42	41,67	
	10	5,8	3,33	6,67	10,00	6,67	6,67	45,00	51,67	55,42	62,08	10,42	6,67	
	11	6,7	3,13	6,25	9,38	6,25	6,25	55,83	62,08	55,83	62,08	0,00	6,25	
F	9,10,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	62,08	62,08	62,08	62,08	0,00	0,00		

Duração	66,65
Atraso	3,52
Variância	41,53
Desvio-padrão	6,44
Custo Total Esp.	211,83

Projeto 7	Tarefa	Prec.	a	m	b	Cont. Trab. Esp.	Dur. Esp.	ES	EF	LS	LF	Folga	Custo	
	I	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	1	I	5,00	10,00	15,00	10,00	10,00	0,00	10,00	0,00	10,00	10,00	0,00	10,00
	2	I	5,56	11,11	16,67	11,11	11,11	0,00	11,11	3,61	14,72	3,61	11,11	
	3	I	6,25	12,50	18,75	12,50	12,50	0,00	12,50	8,61	21,11	8,61	12,50	
	4	I	5,00	10,00	15,00	10,00	10,00	0,00	10,00	14,72	24,72	14,72	10,00	
	5	1	5,56	11,11	16,67	11,11	11,11	10,00	21,11	10,00	21,11	0,00	11,11	
	6	1	6,25	12,50	18,75	12,50	12,50	10,00	22,50	22,22	34,72	12,22	12,50	
	7	2	5,00	10,00	15,00	10,00	10,00	11,11	21,11	14,72	24,72	3,61	10,00	
	8	2	5,56	11,11	16,67	11,11	11,11	11,11	22,22	33,61	44,72	22,50	11,11	
	9	3,5	6,25	12,50	18,75	12,50	12,50	21,11	33,61	21,11	33,61	0,00	12,50	
	10	4,7	5,00	10,00	15,00	10,00	10,00	21,11	31,11	24,72	34,72	3,61	10,00	
	11	9	5,56	11,11	16,67	11,11	11,11	33,61	44,72	33,61	44,72	0,00	11,11	
12	6,1	5,00	10,00	15,00	10,00	10,00	31,11	41,11	34,72	44,72	3,61	10,00		
F	8,11,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	44,72	44,72	44,72	44,72	0,00	0,00		

Duração	45,76
Atraso	0,98
Variância	14,17
Desvio-padrão	3,76
Custo Total Esp.	136,21

Anexo V – Cálculos: Simulação de Monte Carlo com distribuição betapert simétrica (cont.)

Projeto 8	Tarefa	Prec.	a	m	b	Cont. Trab. Esp.	Dur. Esp.	ES	EF	LS	LF	Folga	Custo			
	I	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
	1	I	2,50	5,00	7,50	5,00	5,00	0,00	5,00	0,00	5,00	0,00	5,00	0,00	5,00	
	2	I	2,00	4,00	6,00	4,00	4,00	0,00	4,00	6,00	10,00	6,00	4,00			
	3	I	3,13	6,25	9,38	6,25	6,25	0,00	6,25	8,75	15,00	8,75	6,25			
	4	I	2,50	5,00	7,50	5,00	5,00	0,00	5,00	20,50	25,50	20,50	5,00			
	5	1	5,00	10,00	15,00	10,00	10,00	5,00	15,00	5,00	15,00	0,00	10,00			
	6	1	3,13	6,25	9,38	6,25	6,25	5,00	11,25	19,25	25,50	14,25	6,25			
	7	2	1,00	2,00	3,00	2,00	2,00	4,00	6,00	23,50	25,50	19,50	2,00			
	8	2	2,00	4,00	6,00	4,00	4,00	4,00	8,00	23,50	27,50	19,50	4,00			
	9	2	2,50	5,00	7,50	5,00	5,00	4,00	9,00	10,00	15,00	6,00	5,00			
	10	3,5,9	6,25	12,50	18,75	12,50	12,50	15,00	27,50	15,00	27,50	0,00	12,50			
	11	1	5,56	11,11	16,67	11,11	11,11	5,00	16,11	24,39	35,50	19,39	11,11			
	12	4,6,7	5,00	10,00	15,00	10,00	10,00	11,25	21,25	25,50	35,50	14,25	10,00			
	13	8;10	4,00	8,00	12,00	8,00	8,00	27,50	35,50	27,50	35,50	0,00	8,00			
	14	3,5,9	5,00	10,00	15,00	10,00	10,00	15,00	25,00	25,50	35,50	10,50	10,00			
F	11,12,13,14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	35,50	35,50	35,50	35,50	0,00	0,00			
													Duração	35,60		
													Atraso	0,82		
													Variância	12,56		
													Desvio-padrão	3,54		
													Custo Total Esp.	101,88		

Anexo V – Cálculos: Simulação de Monte Carlo com distribuição betapert simétrica (cont.)

Projeto 9	Tarefa	Prec.	a	m	b	Cont. Trab. Esp.	Dur. Esp.	ES	EF	LS	LF	Folga	Custo			
	I	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
	1	I	25,00	50,00	75,00	50,00	50,00	0,00	50,00	0,00	50,00	50,00	0,00	50,00		
	2	I	16,67	33,33	50,00	33,33	33,33	0,00	33,33	25,24	58,57	25,24	33,33			
	3	I	12,50	25,00	37,50	25,00	25,00	0,00	25,00	80,24	105,24	80,24	25,00			
	4	1	20,00	40,00	60,00	40,00	40,00	50,00	90,00	55,24	95,24	5,24	40,00			
	5	1	14,29	28,57	42,86	28,57	28,57	50,00	78,57	50,00	78,57	0,00	28,57		Duração	184,22
	6	2	11,11	22,22	33,33	22,22	22,22	33,33	55,56	73,02	95,24	39,68	22,22		Atraso	4,61
	7	2	10,00	20,00	30,00	20,00	20,00	33,33	53,33	58,57	78,57	25,24	20,00		Variância	238,92
	8	3	8,33	16,67	25,00	16,67	16,67	25,00	41,67	111,90	128,57	86,90	16,67		Desvio-padrão	15,46
	9	3	16,67	33,33	50,00	33,33	33,33	33,33	25,00	58,33	105,24	138,57	80,24	33,33	Custo Total Esp.	538,30
	10	4,6	25,00	50,00	75,00	50,00	50,00	50,00	90,00	140,00	95,24	145,24	5,24	50,00		
	11	5,7	33,33	66,67	100,00	66,67	66,67	66,67	78,57	145,24	78,57	145,24	0,00	66,67		
	12	8	25,00	50,00	75,00	50,00	50,00	50,00	41,67	91,67	128,57	178,57	86,90	50,00		
	13	9	20,00	40,00	60,00	40,00	40,00	40,00	58,33	98,33	138,57	178,57	80,24	40,00		
14	10,11	16,67	33,33	50,00	33,33	33,33	33,33	145,24	178,57	145,24	178,57	0,00	33,33			
F	12,13,14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	178,57	178,57	178,57	178,57	0,00	0,00			

Anexo V – Cálculos: Simulação de Monte Carlo com distribuição betapert simétrica (cont.)

Projeto 10	Tarefa	Prec.	a	m	b	Cont. Trab. Esp.	Dur. Esp.	ES	EF	LS	LF	Folga	Custo
	I	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	1	I	2,99	5,99	8,98	5,99	5,99	0,00	5,99	9,01	15,00	9,01	5,99
	2	I	5,00	10,00	15,00	10,00	10,00	0,00	10,00	0,00	10,00	0,00	10,00
	3	1	2,50	5,00	7,50	5,00	5,00	5,99	10,99	15,00	20,00	9,01	5,00
	4	2	5,00	10,00	15,00	10,00	10,00	10,00	20,00	10,00	20,00	0,00	10,00
	5	1	2,00	4,00	6,00	4,00	4,00	5,99	9,99	31,00	35,00	25,02	4,00
	6	2	2,50	5,00	7,50	5,00	5,00	10,00	15,00	25,00	30,00	15,00	5,00
	7	3,4	5,00	10,00	15,00	10,00	10,00	20,00	30,00	20,00	30,00	0,00	10,00
	8	3,4	1,50	3,00	4,50	3,00	3,00	20,00	23,00	31,00	34,00	11,00	3,00
	9	6,7	1,50	3,00	4,50	3,00	3,00	30,00	33,00	32,00	35,00	2,00	3,00
	10	6,7	2,00	4,00	6,00	4,00	4,00	30,00	34,00	30,00	34,00	0,00	4,00
	11	6,7	1,00	2,00	3,00	2,00	2,00	30,00	32,00	35,89	37,89	5,89	2,00
	12	5,9	2,99	5,99	8,98	5,99	5,99	33,00	38,99	35,00	40,99	2,00	5,99
	13	10,8	3,50	6,99	10,49	6,99	6,99	34,00	40,99	34,00	40,99	0,00	6,99
	14	10,8	1,00	2,00	3,00	2,00	2,00	34,00	36,00	35,89	37,89	1,89	2,00
	15	10,8	4,00	8,00	12,00	8,00	8,00	34,00	42,00	38,98	46,98	4,98	8,00
	16	12,13	2,99	5,99	8,98	5,99	5,99	40,99	46,98	40,99	46,98	0,00	5,99
	17	11,14	4,55	9,09	13,64	9,09	9,09	36,00	45,09	37,89	46,98	1,89	9,09
F	15,16,17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	46,98	46,98	46,98	46,98	0,00	0,00	

Duração	47,35
Atraso	0,76
Variância	13,06
Desvio-padrão	3,61
Custo Total Esp.	105,50

Anexo VI – Cálculos: Simulação de Monte Carlo com distribuição betapert que pretende aproximar a média e a variância da exponencial

Projeto 1	Tarefa	Preced.	a	m	b	Cont. Trab. Esp.	Dur. Esp.	ES	EF	LS	LF	Folga	Custo		
	I	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Duração
1	I	0,00	0,00	30,00	5,00	5,00	0,00	5,00	0,00	5,00	5,00	0,00	5,00	Atraso	6,62
2	1	0,00	0,00	60,00	10,00	10,00	5,00	15,00	5,00	15,00	15,00	0,00	10,00	Variância	112,35
3	I	0,00	0,00	85,71	14,29	14,29	0,00	14,29	0,71	15,00	15,00	0,71	14,29	Desvio-padrão	10,60
F	2,3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	0,00	0,00	Custo Total Esp.	42,82
Projeto 2	Tarefa	Preced.	a	m	b	Cont. Trab. Esp.	Dur. Esp.	ES	EF	LS	LF	Folga	Custo		
	I	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Duração
1	I	0,00	0,00	300,00	50,00	50,00	0,00	50,00	0,00	50,00	50,00	0,00	50,00	Atraso	26,99
2	I	0,00	0,00	200,00	33,33	33,33	0,00	33,33	41,67	75,00	75,00	41,67	33,33	Variância	2947,70
3	1	0,00	0,00	150,00	25,00	25,00	50,00	75,00	50,00	75,00	75,00	0,00	25,00	Desvio-padrão	54,29
4	1	0,00	0,00	250,00	41,67	41,67	50,00	91,67	73,33	115,00	115,00	23,33	41,67	Custo Total Esp.	408,16
5	2,3	0,00	0,00	240,00	40,00	40,00	75,00	115,00	75,00	115,00	115,00	0,00	40,00		
F	4,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	115,00	115,00	115,00	115,00	115,00	0,00	0,00		
Projeto 3	Tarefa	Preced.	a	m	b	Cont. Trab. Esp.	Dur. Esp.	ES	EF	LS	LF	Folga	Custo		
	I	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Duração
1	I	0,00	0,00	75,00	12,50	12,50	0,00	12,50	0,00	12,50	12,50	0,00	12,50	Atraso	22,31
2	I	0,00	0,00	100,00	16,67	16,67	0,00	16,67	6,94	23,61	23,61	6,94	16,67	Variância	875,53
3	1	0,00	0,00	66,67	11,11	11,11	12,50	23,61	12,50	23,61	23,61	0,00	11,11	Desvio-padrão	29,59
4	1	0,00	0,00	120,00	20,00	20,00	12,50	32,50	17,90	37,90	37,90	5,40	20,00	Custo Total Esp.	246,25
5	2,3	0,00	0,00	85,71	14,29	14,29	23,61	37,90	23,61	37,90	37,90	0,00	14,29		
6	2,3	0,00	0,00	200,00	33,33	33,33	23,61	56,94	29,56	62,90	62,90	5,95	33,33		
7	4,5	0,00	0,00	150,00	25,00	25,00	37,90	62,90	37,90	62,90	62,90	0,00	25,00		
F	6,7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	62,90	62,90	62,90	62,90	62,90	0,00	0,00		

Anexo VI – Cálculos: Simulação de Monte Carlo com distribuição betapert que pretende aproximar a média e a variância da exponencial (cont.)

Projeto 4	Tarefa	Prec.	a	m	b	Cont. Trab. Esp.	Dur. Esp.	ES	EF	LS	LF	Folga	Custo			
	I	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
	1	I	0,00	0,00	150,00	25,00	25,00	0,00	25,00	7,14	32,14	7,14	25,00			
	2	I	0,00	0,00	600,00	100,00	100,00	0,00	100,00	0,00	100,00	0,00	100,00			
	3	I	0,00	0,00	85,71	14,29	14,29	0,00	14,29	37,85	52,14	37,85	14,29	Duração	143,90	
	4	1	0,00	0,00	171,43	28,57	28,57	25,00	53,57	54,76	83,33	29,76	28,57	Atraso	45,92	
	5	1	0,00	0,00	120,00	20,00	20,00	25,00	45,00	32,14	52,14	7,14	20,00	Variância	4272,14	
	6	3,5	0,00	0,00	100,00	16,67	16,67	45,00	61,67	66,67	83,33	21,67	16,67	Desvio-padrão	65,36	
	7	3,5	0,00	0,00	133,33	22,22	22,22	45,00	67,22	52,14	74,36	7,14	22,22	Custo Total Esp.	458,23	
	8	4,6	0,00	0,00	100,00	16,67	16,67	61,67	78,33	83,33	100,00	21,67	16,67			
	9	7	0,00	0,00	153,85	25,64	25,64	67,22	92,86	74,36	100,00	7,14	25,64			
F	2,8,9	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00	100,00	100,00	0,00	0,00				
Projeto 5	Tarefa	Prec.	a	m	b	Cont. Trab. Esp.	Dur. Esp.	ES	EF	LS	LF	Folga	Custo			
	I	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
	1	I	0,00	0,00	60,00	10,00	10,00	0,00	10,00	0,00	10,00	0,00	10,00			
	2	I	0,00	0,00	66,67	11,11	11,11	0,00	11,11	3,89	15,00	3,89	11,11			
	3	I	0,00	0,00	15,00	2,50	2,50	0,00	2,50	15,83	18,33	15,83	2,50			
	4	1	0,00	0,00	30,00	5,00	5,00	10,00	15,00	10,00	15,00	0,00	5,00	Duração	37,18	
	5	2,4	0,00	0,00	20,00	3,33	3,33	15,00	18,33	15,00	18,33	0,00	3,33	Atraso	10,48	
	6	1	0,00	0,00	75,00	12,50	12,50	10,00	22,50	10,83	23,33	0,83	12,50	Variância	143,31	
	7	2,4	0,00	0,00	15,00	2,50	2,50	15,00	17,50	20,83	23,33	5,83	2,50	Desvio-padrão	11,97	
	8	3,5	0,00	0,00	30,00	5,00	5,00	18,33	23,33	18,33	23,33	0,00	5,00	Custo Total Esp.	153,50	
	9	2,4	0,00	0,00	60,00	10,00	10,00	15,00	25,00	16,67	26,67	1,67	10,00			
	10	6,7,8	0,00	0,00	20,00	3,33	3,33	23,33	26,67	23,33	26,67	0,00	3,33			
11	3,5	0,00	0,00	20,00	3,33	3,33	18,33	21,67	23,33	26,67	5,00	3,33				
F	9,10,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	26,67	26,67	26,67	26,67	0,00	0,00				

Anexo VI – Cálculos: Simulação de Monte Carlo com distribuição betapert que pretende aproximar a média e a variância da exponencial

(cont.)

Projeto 6	Tarefa	Prec.	a	m	b	Cont. Trab. Esp.	Dur. Esp.	ES	EF	LS	LF	Folga	Custo			
	I	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
	1	I	0,00	0,00	60,00	10,00	10,00	0,00	10,00	0,00	10,00	0,00	0,00	10,00		
	2	I	0,00	0,00	50,00	8,33	8,33	0,00	8,33	14,17	22,50	14,17	8,33			
	3	I	0,00	0,00	120,00	20,00	20,00	0,00	20,00	0,42	20,42	0,42	20,00			
	4	1	0,00	0,00	75,00	12,50	12,50	10,00	22,50	10,00	22,50	0,00	12,50			
	5	1	0,00	0,00	30,00	5,00	5,00	10,00	15,00	50,42	55,42	40,42	5,00		Duração	89,57
	6	1	0,00	0,00	150,00	25,00	25,00	10,00	35,00	30,83	55,83	20,83	25,00		Atraso	27,77
	7	2,4	0,00	0,00	200,00	33,33	33,33	22,50	55,83	22,50	55,83	0,00	33,33		Variância	1054,75
	8	3	0,00	0,00	150,00	25,00	25,00	20,00	45,00	30,42	55,42	10,42	25,00		Desvio-padrão	32,48
	9	3	0,00	0,00	250,00	41,67	41,67	20,00	61,67	20,42	62,08	0,42	41,67		Custo Total Esp.	334,80
	10	5,8	0,00	0,00	40,00	6,67	6,67	45,00	51,67	55,42	62,08	10,42	6,67			
	11	6,7	0,00	0,00	37,50	6,25	6,25	55,83	62,08	55,83	62,08	0,00	6,25			
F	9,10,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	62,08	62,08	62,08	62,08	0,00	0,00			
Projeto 7	Tarefa	Prec.	a	m	b	Cont. Trab. Esp.	Dur. Esp.	ES	EF	LS	LF	Folga	Custo			
	I	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
	1	I	0,00	0,00	60,00	10,00	10,00	0,00	10,00	0,00	10,00	0,00	10,00			
	2	I	0,00	0,00	66,67	11,11	11,11	0,00	11,11	3,61	14,72	3,61	11,11			
	3	I	0,00	0,00	75,00	12,50	12,50	0,00	12,50	8,61	21,11	8,61	12,50			
	4	I	0,00	0,00	60,00	10,00	10,00	0,00	10,00	14,72	24,72	14,72	10,00		Duração	57,79
	5	1	0,00	0,00	66,67	11,11	11,11	10,00	21,11	10,00	21,11	0,00	11,11		Atraso	12,97
	6	1	0,00	0,00	75,00	12,50	12,50	10,00	22,50	22,22	34,72	12,22	12,50		Variância	273,17
	7	2	0,00	0,00	60,00	10,00	10,00	11,11	21,11	14,72	24,72	3,61	10,00		Desvio-padrão	16,53
	8	2	0,00	0,00	66,67	11,11	11,11	11,11	22,22	33,61	44,72	22,50	11,11		Custo Total Esp.	185,55
	9	3,5	0,00	0,00	75,00	12,50	12,50	21,11	33,61	21,11	33,61	0,00	12,50			
	10	4,7	0,00	0,00	60,00	10,00	10,00	21,11	31,11	24,72	34,72	3,61	10,00			
	11	9	0,00	0,00	66,67	11,11	11,11	33,61	44,72	33,61	44,72	0,00	11,11			
12	6,1	0,00	0,00	60,00	10,00	10,00	31,11	41,11	34,72	44,72	3,61	10,00				
F	8,11,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	44,72	44,72	44,72	44,72	0,00	0,00			

**Anexo VI – Cálculos: Simulação de Monte Carlo com distribuição betapert que pretende aproximar a média e a variância da exponencial
(cont.)**

Projeto 8	Tarefa	Prec.	a	m	b	Cont. Trab. Esp.	Dur. Esp.	ES	EF	LS	LF	Folga	Custo			
	I	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
	1	I	0,00	0,00	30,00	5,00	5,00	0,00	5,00	0,00	5,00	0,00	5,00	5,00		
	2	I	0,00	0,00	24,00	4,00	4,00	0,00	4,00	6,00	10,00	6,00	4,00			
	3	I	0,00	0,00	37,50	6,25	6,25	0,00	6,25	8,75	15,00	8,75	6,25			
	4	I	0,00	0,00	30,00	5,00	5,00	0,00	5,00	20,50	25,50	20,50	5,00			
	5	1	0,00	0,00	60,00	10,00	10,00	5,00	15,00	5,00	15,00	0,00	10,00		Duração	41,88
	6	1	0,00	0,00	37,50	6,25	6,25	5,00	11,25	19,25	25,50	14,25	6,25		Atraso	7,82
	7	2	0,00	0,00	12,00	2,00	2,00	4,00	6,00	23,50	25,50	19,50	2,00		Variância	179,39
	8	2	0,00	0,00	24,00	4,00	4,00	4,00	8,00	23,50	27,50	19,50	4,00		Desvio-padrão	13,39
	9	2	0,00	0,00	30,00	5,00	5,00	4,00	9,00	10,00	15,00	6,00	5,00		Custo Total Esp.	123,79
	10	3,5,9	0,00	0,00	75,00	12,50	12,50	15,00	27,50	15,00	27,50	0,00	12,50			
	11	1	0,00	0,00	66,67	11,11	11,11	5,00	16,11	24,39	35,50	19,39	11,11			
	12	4,6,7	0,00	0,00	60,00	10,00	10,00	11,25	21,25	25,50	35,50	14,25	10,00			
	13	8,10	0,00	0,00	48,00	8,00	8,00	27,50	35,50	27,50	35,50	0,00	8,00			
14	3,5,9	0,00	0,00	60,00	10,00	10,00	15,00	25,00	25,50	35,50	10,50	10,00				
F	11,12,13,14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	35,50	35,50	35,50	35,50	0,00	0,00				

**Anexo VI – Cálculos: Simulação de Monte Carlo com distribuição betapert que pretende aproximar a média e a variância da exponencial
(cont.)**

Projeto 9	Tarefa	Prec.	a	m	b	Cont. Trab. Esp.	Dur. Esp.	ES	EF	LS	LF	Folga	Custo				
	I	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
	1	I	0,00	0,00	300,00	50,00	50,00	0,00	50,00	0,00	50,00	0,00	50,00	0,00	50,00		
	2	I	0,00	0,00	200,00	33,33	33,33	0,00	33,33	25,24	58,57	25,24	33,33				
	3	I	0,00	0,00	150,00	25,00	25,00	0,00	25,00	80,24	105,24	80,24	25,00				
	4	1	0,00	0,00	240,00	40,00	40,00	50,00	90,00	55,24	95,24	5,24	40,00				
	5	1	0,00	0,00	171,43	28,57	28,57	50,00	78,57	50,00	78,57	0,00	28,57				
	6	2	0,00	0,00	133,33	22,22	22,22	33,33	55,56	73,02	95,24	39,68	22,22				
	7	2	0,00	0,00	120,00	20,00	20,00	33,33	53,33	58,57	78,57	25,24	20,00				
	8	3	0,00	0,00	100,00	16,67	16,67	25,00	41,67	111,90	128,57	86,90	16,67				
	9	3	0,00	0,00	200,00	33,33	33,33	25,00	58,33	105,24	138,57	80,24	33,33				
	10	4,6	0,00	0,00	300,00	50,00	50,00	90,00	140,00	95,24	145,24	5,24	50,00				
	11	5,7	0,00	0,00	400,00	66,67	66,67	78,57	145,24	78,57	145,24	0,00	66,67				
	12	8	0,00	0,00	300,00	50,00	50,00	41,67	91,67	128,57	178,57	86,90	50,00				
	13	9	0,00	0,00	240,00	40,00	40,00	58,33	98,33	138,57	178,57	80,24	40,00				
14	10,11	0,00	0,00	200,00	33,33	33,33	145,24	178,57	145,24	178,57	0,00	33,33					
F	12,13,14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	178,57	178,57	178,57	178,57	0,00	0,00				

Duração	224,35
Atraso	47,45
Variância	4667,97
Desvio-padrão	68,32
Custo Total Esp.	800,01

**Anexo VI – Cálculos: Simulação de Monte Carlo com distribuição betapert que pretende aproximar a média e a variância da exponencial
(cont.)**

Projeto 10	Tarefa	Prec.	a	m	b	Cont. Trab. Esp.	Dur. Esp.	ES	EF	LS	LF	Folga	Custo	
	I	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	1	I	0,00	0,00	35,93	5,99	5,99	0,00	5,99	9,01	15,00	9,01	5,99	5,99
	2	I	0,00	0,00	60,00	10,00	10,00	0,00	10,00	0,00	10,00	0,00	10,00	10,00
	3	1	0,00	0,00	30,00	5,00	5,00	5,99	10,99	15,00	20,00	9,01	5,00	5,00
	4	2	0,00	0,00	60,00	10,00	10,00	10,00	20,00	10,00	20,00	0,00	10,00	10,00
	5	1	0,00	0,00	24,00	4,00	4,00	5,99	9,99	31,00	35,00	25,02	4,00	4,00
	6	2	0,00	0,00	30,00	5,00	5,00	10,00	15,00	25,00	30,00	15,00	5,00	5,00
	7	3,4	0,00	0,00	60,00	10,00	10,00	20,00	30,00	20,00	30,00	0,00	10,00	10,00
	8	3,4	0,00	0,00	18,02	3,00	3,00	20,00	23,00	31,00	34,00	11,00	3,00	3,00
	9	6,7	0,00	0,00	18,02	3,00	3,00	30,00	33,00	32,00	35,00	2,00	3,00	3,00
	10	6,7	0,00	0,00	24,00	4,00	4,00	30,00	34,00	30,00	34,00	0,00	4,00	4,00
	11	6,7	0,00	0,00	12,00	2,00	2,00	30,00	32,00	35,89	37,89	5,89	2,00	2,00
	12	5,9	0,00	0,00	35,93	5,99	5,99	33,00	38,99	35,00	40,99	2,00	5,99	5,99
	13	10,8	0,00	0,00	41,96	6,99	6,99	34,00	40,99	34,00	40,99	0,00	6,99	6,99
	14	10,8	0,00	0,00	12,00	2,00	2,00	34,00	36,00	35,89	37,89	1,89	2,00	2,00
	15	10,8	0,00	0,00	48,00	8,00	8,00	34,00	42,00	38,98	46,98	4,98	8,00	8,00
16	12,13	0,00	0,00	35,93	5,99	5,99	40,99	46,98	40,99	46,98	0,00	5,99	5,99	
17	11,14	0,00	0,00	54,55	9,09	9,09	36,00	45,09	37,89	46,98	1,89	9,09	9,09	
F	15,16,17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	46,98	46,98	46,98	46,98	46,98	0,00	0,00	0,00

Duração	54,93
Atraso	9,23
Variância	236,03
Desvio-padrão	15,36
Custo Total Esp.	165,35

Anexo VII – Cálculos: Simulação de Monte Carlo com distribuição exponencial

Projeto 1	Tarefa	Preced.	λ	Cont. Trab. Esp.	Dur. Esp.	ES	EF	LS	LF	Folga	Custo			
	I	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Duração	21,09
1	I	0,20	5,00	5,00	0,00	5,00	0,00	5,00	0,00	5,00	0,00	5,00	Atraso	7,54
2	1	0,10	10,00	10,00	5,00	15,00	5,00	15,00	0,00	15,00	0,00	10,00	Variância	177,09
3	I	0,07	14,29	14,29	0,00	14,29	0,71	15,00	0,71	15,00	0,71	14,29	Desvio-padrão	13,31
F	2,3	0,00	0,00	0,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	0,00	0,00	Custo Total Esp.	44,52	
Projeto 2	Tarefa	Preced.	λ	Cont. Trab. Esp.	Dur. Esp.	ES	EF	LS	LF	Folga	Custo			
	I	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Duração	134,04
1	I	0,02	50,00	50,00	0,00	50,00	0,00	50,00	0,00	50,00	0,00	50,00	Atraso	32,12
2	I	0,03	33,33	33,33	0,00	33,33	41,67	75,00	41,67	75,00	41,67	33,33	Variância	4337,77
3	1	0,04	25,00	25,00	50,00	75,00	50,00	75,00	0,00	75,00	0,00	25,00	Desvio-padrão	65,86
4	1	0,02	41,67	41,67	50,00	91,67	73,33	115,00	23,33	115,00	41,67	41,67	Custo Total Esp.	448,75
5	2,3	0,03	40,00	40,00	75,00	115,00	75,00	115,00	0,00	115,00	0,00	40,00		
F	4,5	0,00	0,00	0,00	115,00	115,00	115,00	115,00	115,00	0,00	0,00			
Projeto 3	Tarefa	Preced.	λ	Cont. Trab. Esp.	Dur. Esp.	ES	EF	LS	LF	Folga	Custo			
	I	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Duração	87,03
1	I	0,08	12,50	12,50	0,00	12,50	0,00	12,50	0,00	12,50	0,00	12,50	Atraso	26,31
2	I	0,06	16,67	16,67	0,00	16,67	6,94	23,61	6,94	23,61	6,94	16,67	Variância	1409,59
3	1	0,09	11,11	11,11	12,50	23,61	12,50	23,61	0,00	23,61	0,00	11,11	Desvio-padrão	37,54
4	1	0,05	20,00	20,00	12,50	32,50	17,90	37,90	5,40	37,90	5,40	20,00	Custo Total Esp.	265,99
5	2,3	0,07	14,29	14,29	23,61	37,90	23,61	37,90	0,00	37,90	0,00	14,29		
6	2,3	0,03	33,33	33,33	23,61	56,94	29,56	62,90	5,95	62,90	5,95	33,33		
7	4,5	0,04	25,00	25,00	37,90	62,90	37,90	62,90	0,00	62,90	0,00	25,00		
F	6,7	0,00	0,00	0,00	62,90	62,90	62,90	62,90	62,90	0,00	0,00			

Anexo VII – Cálculos: Simulação de Monte Carlo com distribuição exponencial (cont.)

Projeto 4	Tarefa	Prec.	λ	Cont. Trab. Esp.	Dur. Esp.	ES	EF	LS	LF	Folga	Custo
	I	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	1	I	0,04	25,00	25,00	0,00	25,00	7,14	32,14	7,14	25,00
	2	I	0,01	100,00	100,00	0,00	100,00	0,00	100,00	0,00	100,00
	3	I	0,07	14,29	14,29	0,00	14,29	37,85	52,14	37,85	14,29
	4	1	0,04	28,57	28,57	25,00	53,57	54,76	83,33	29,76	28,57
	5	1	0,05	20,00	20,00	25,00	45,00	32,14	52,14	7,14	20,00
	6	3,5	0,06	16,67	16,67	45,00	61,67	66,67	83,33	21,67	16,67
	7	3,5	0,05	22,22	22,22	45,00	67,22	52,14	74,36	7,14	22,22
	8	4,6	0,06	16,67	16,67	61,67	78,33	83,33	100,00	21,67	16,67
	9	7	0,04	25,64	25,64	67,22	92,86	74,36	100,00	7,14	25,64
F	2,8,9	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	0,00	0,00

Duração	150,46
Atraso	53,55
Variância	6750,15
Desvio-padrão	82,16
Custo Total Esp.	488,88

Projeto 5	Tarefa	Prec.	λ	Cont. Trab. Esp.	Dur. Esp.	ES	EF	LS	LF	Folga	Custo
	I	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	1	I	0,10	10,00	10,00	0,00	10,00	0,00	10,00	0,00	10,00
	2	I	0,09	11,11	11,11	0,00	11,11	3,89	15,00	3,89	11,11
	3	I	0,40	2,50	2,50	0,00	2,50	15,83	18,33	15,83	2,50
	4	1	0,20	5,00	5,00	10,00	15,00	10,00	15,00	0,00	5,00
	5	2,4	0,30	3,33	3,33	15,00	18,33	15,00	18,33	0,00	3,33
	6	1	0,08	12,50	12,50	10,00	22,50	10,83	23,33	0,83	12,50
	7	2,4	0,40	2,50	2,50	15,00	17,50	20,83	23,33	5,83	2,50
	8	3,5	0,20	5,00	5,00	18,33	23,33	18,33	23,33	0,00	5,00
	9	2,4	0,10	10,00	10,00	15,00	25,00	16,67	26,67	1,67	10,00
	10	6,7,8	0,30	3,33	3,33	23,33	26,67	23,33	26,67	0,00	3,33
11	3,5	0,30	3,33	3,33	18,33	21,67	23,33	26,67	5,00	3,33	
F	9,10,11	0,00	0,00	0,00	26,67	26,67	26,67	26,67	26,67	0,00	0,00

Duração	38,92
Atraso	12,46
Variância	239,37
Desvio-padrão	15,47
Custo Total Esp.	169,38

Anexo VII – Cálculos: Simulação de Monte Carlo com distribuição exponencial (cont.)

Projeto 6	Tarefa	Prec.	λ	Cont. Trab. Esp.	Dur. Esp.	ES	EF	LS	LF	Folga	Custo	
	I	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	1	I	0,10	10,00	10,00	0,00	10,00	0,00	10,00	0,00	10,00	10,00
	2	I	0,12	8,33	8,33	0,00	8,33	14,17	22,50	14,17	8,33	8,33
	3	I	0,05	20,00	20,00	0,00	20,00	0,42	20,42	0,42	20,00	20,00
	4	1	0,08	12,50	12,50	10,00	22,50	10,00	22,50	0,00	12,50	12,50
	5	1	0,20	5,00	5,00	10,00	15,00	50,42	55,42	40,42	5,00	5,00
	6	1	0,04	25,00	25,00	10,00	35,00	30,83	55,83	20,83	25,00	25,00
	7	2,4	0,03	33,33	33,33	22,50	55,83	22,50	55,83	0,00	33,33	33,33
	8	3	0,04	25,00	25,00	20,00	45,00	30,42	55,42	10,42	25,00	25,00
	9	3	0,02	41,67	41,67	20,00	61,67	20,42	62,08	0,42	41,67	41,67
	10	5,8	0,15	6,67	6,67	45,00	51,67	55,42	62,08	10,42	6,67	6,67
	11	6,7	0,16	6,25	6,25	55,83	62,08	55,83	62,08	0,00	6,25	6,25
F	9,10,11	0,00	0,00	0,00	0,00	62,08	62,08	62,08	62,08	0,00	0,00	

Duração	94,49
Atraso	33,37
Variância	1823,68
Desvio-padrão	42,70
Custo Total Esp.	362,83

Projeto 7	Tarefa	Prec.	λ	Cont. Trab. Esp.	Dur. Esp.	ES	EF	LS	LF	Folga	Custo	
	I	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	1	I	0,10	10,00	10,00	0,00	10,00	0,00	10,00	0,00	10,00	10,00
	2	I	0,09	11,11	11,11	0,00	11,11	3,61	14,72	3,61	11,11	11,11
	3	I	0,08	12,50	12,50	0,00	12,50	8,61	21,11	8,61	12,50	12,50
	4	I	0,10	10,00	10,00	0,00	10,00	14,72	24,72	14,72	10,00	10,00
	5	1	0,09	11,11	11,11	10,00	21,11	10,00	21,11	0,00	11,11	11,11
	6	1	0,08	12,50	12,50	10,00	22,50	22,22	34,72	12,22	12,50	12,50
	7	2	0,10	10,00	10,00	11,11	21,11	14,72	24,72	3,61	10,00	10,00
	8	2	0,09	11,11	11,11	11,11	22,22	33,61	44,72	22,50	11,11	11,11
	9	3,5	0,08	12,50	12,50	21,11	33,61	21,11	33,61	0,00	12,50	12,50
	10	4,7	0,10	10,00	10,00	21,11	31,11	24,72	34,72	3,61	10,00	10,00
	11	9	0,09	11,11	11,11	33,61	44,72	33,61	44,72	0,00	11,11	11,11
12	6,1	0,10	10,00	10,00	31,11	41,11	34,72	44,72	3,61	10,00	10,00	
F	8,11,12	0,00	0,00	0,00	0,00	44,72	44,72	44,72	44,72	0,00	0,00	

Duração	61,03
Atraso	16,50
Variância	455,71
Desvio-padrão	21,35
Custo Total Esp.	199,77

Anexo VII – Cálculos: Simulação de Monte Carlo com distribuição exponencial (cont.)

Projeto 8	Tarefa	Prec.	λ	Cont. Trab. Esp.	Dur. Esp.	ES	EF	LS	LF	Folga	Custo
	I	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	1	I	0,20	5,00	5,00	0,00	5,00	0,00	5,00	0,00	5,00
	2	I	0,25	4,00	4,00	0,00	4,00	6,00	10,00	6,00	4,00
	3	I	0,16	6,25	6,25	0,00	6,25	8,75	15,00	8,75	6,25
	4	I	0,20	5,00	5,00	0,00	5,00	20,50	25,50	20,50	5,00
	5	1	0,10	10,00	10,00	5,00	15,00	5,00	15,00	0,00	10,00
	6	1	0,16	6,25	6,25	5,00	11,25	19,25	25,50	14,25	6,25
	7	2	0,50	2,00	2,00	4,00	6,00	23,50	25,50	19,50	2,00
	8	2	0,25	4,00	4,00	4,00	8,00	23,50	27,50	19,50	4,00
	9	2	0,20	5,00	5,00	4,00	9,00	10,00	15,00	6,00	5,00
	10	3,5,9	0,08	12,50	12,50	15,00	27,50	15,00	27,50	0,00	12,50
	11	1	0,09	11,11	11,11	5,00	16,11	24,39	35,50	19,39	11,11
	12	4,6,7	0,10	10,00	10,00	11,25	21,25	25,50	35,50	14,25	10,00
	13	8;10	0,13	8,00	8,00	27,50	35,50	27,50	35,50	0,00	8,00
14	3,5,9	0,10	10,00	10,00	15,00	25,00	25,50	35,50	10,50	10,00	
F	11,12,13,14	0,00	0,00	0,00	35,50	35,50	35,50	35,50	0,00	0,00	

Duração	43,97
Atraso	10,10
Variância	269,81
Desvio-padrão	16,43
Custo Total Esp.	130,51

Anexo VII – Cálculos: Simulação de Monte Carlo com distribuição exponencial (cont.)

Projeto 9	Tarefa	Prec.	λ	Cont. Trab. Esp.	Dur. Esp.	ES	EF	LS	LF	Folga	Custo
	I	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	1	I	0,02	50,00	50,00	0,00	50,00	0,00	50,00	0,00	50,00
	2	I	0,03	33,33	33,33	0,00	33,33	25,24	58,57	25,24	33,33
	3	I	0,04	25,00	25,00	0,00	25,00	80,24	105,24	80,24	25,00
	4	1	0,03	40,00	40,00	50,00	90,00	55,24	95,24	5,24	40,00
	5	1	0,04	28,57	28,57	50,00	78,57	50,00	78,57	0,00	28,57
	6	2	0,05	22,22	22,22	33,33	55,56	73,02	95,24	39,68	22,22
	7	2	0,05	20,00	20,00	33,33	53,33	58,57	78,57	25,24	20,00
	8	3	0,06	16,67	16,67	25,00	41,67	111,90	128,57	86,90	16,67
	9	3	0,03	33,33	33,33	25,00	58,33	105,24	138,57	80,24	33,33
	10	4,6	0,02	50,00	50,00	90,00	140,00	95,24	145,24	5,24	50,00
	11	5,7	0,02	66,67	66,67	78,57	145,24	78,57	145,24	0,00	66,67
	12	8	0,02	50,00	50,00	41,67	91,67	128,57	178,57	86,90	50,00
	13	9	0,03	40,00	40,00	58,33	98,33	138,57	178,57	80,24	40,00
14	10,11	0,03	33,33	33,33	145,24	178,57	145,24	178,57	0,00	33,33	
F	12,13,14	0,00	0,00	0,00	0,00	178,57	178,57	178,57	178,57	0,00	0,00

Duração	234,22
Atraso	58,59
Variância	7251,90
Desvio-padrão	85,16
Custo Total Esp.	866,34

Anexo VII – Cálculos: Simulação de Monte Carlo com distribuição exponencial (cont.)

Projeto 10	Tarefa	Prec.	λ	Cont. Trab. Esp.	Dur. Esp.	ES	EF	LS	LF	Folga	Custo
	I	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	1	I	0,17	5,99	5,99	0,00	5,99	9,01	15,00	9,01	5,99
	2	I	0,10	10,00	10,00	0,00	10,00	0,00	10,00	0,00	10,00
	3	1	0,20	5,00	5,00	5,99	10,99	15,00	20,00	9,01	5,00
	4	2	0,10	10,00	10,00	10,00	20,00	10,00	20,00	0,00	10,00
	5	1	0,25	4,00	4,00	5,99	9,99	31,00	35,00	25,02	4,00
	6	2	0,20	5,00	5,00	10,00	15,00	25,00	30,00	15,00	5,00
	7	3,4	0,10	10,00	10,00	20,00	30,00	20,00	30,00	0,00	10,00
	8	3,4	0,33	3,00	3,00	20,00	23,00	31,00	34,00	11,00	3,00
	9	6,7	0,33	3,00	3,00	30,00	33,00	32,00	35,00	2,00	3,00
	10	6,7	0,25	4,00	4,00	30,00	34,00	30,00	34,00	0,00	4,00
	11	6,7	0,50	2,00	2,00	30,00	32,00	35,89	37,89	5,89	2,00
	12	5,9	0,17	5,99	5,99	33,00	38,99	35,00	40,99	2,00	5,99
	13	10,8	0,14	6,99	6,99	34,00	40,99	34,00	40,99	0,00	6,99
	14	10,8	0,50	2,00	2,00	34,00	36,00	35,89	37,89	1,89	2,00
	15	10,8	0,13	8,00	8,00	34,00	42,00	38,98	46,98	4,98	8,00
	16	12,13	0,17	5,99	5,99	40,99	46,98	40,99	46,98	0,00	5,99
	17	11,14	0,11	9,09	9,09	36,00	45,09	37,89	46,98	1,89	9,09
F	15,16,17	0,00	0,00	0,00	46,98	46,98	46,98	46,98	0,00	0,00	

Duração	56,78
Atraso	11,38
Variância	352,48
Desvio-padrão	18,77
Custo Total Esp.	180,33

Anexo VIII - Resumo de resultados da análise ao pressuposto da duração determinista das tarefas

	Projeto 1					Projeto 2				
	Modelo CPM	Simulação (betapert)	Simulação (exponencial)	Variação percentual 1	Variação percentual 2	Modelo CPM	Simulação (betapert)	Simulação (exponencial)	Variação percentual 1	Variação percentual 2
Duração	15,00	20,54	21,09	0,37	0,41	115,00	130,82	134,04	0,14	0,17
Atraso	0,00	6,62	7,54	– ¹⁰	–	0,00	26,99	32,12	–	–
Custo total esperado	29,29	42,82	44,52	0,46	0,52	190,00	408,16	448,75	1,15	1,36

	Projeto 3					Projeto 4				
	Modelo CPM	Simulação (betapert)	Simulação (exponencial)	Variação percentual 1	Variação percentual 2	Modelo CPM	Simulação (betapert)	Simulação (exponencial)	Variação percentual 1	Variação percentual 2
Duração	62,90	83,87	87,03	0,33	0,38	100,00	143,90	150,46	0,44	0,50
Atraso	0,00	22,31	26,31	–	–	0,00	45,92	53,55	–	–
Custo total esperado	132,90	246,25	265,99	0,85	1,00	269,05	458,23	488,88	0,70	0,82

	Projeto 5					Projeto 6				
	Modelo CPM	Simulação (betapert)	Simulação (exponencial)	Variação percentual 1	Variação percentual 2	Modelo CPM	Simulação (betapert)	Simulação (exponencial)	Variação percentual 1	Variação percentual 2
Duração	26,67	37,18	38,92	0,39	0,46	62,08	89,57	94,49	0,44	0,52
Atraso	0,00	10,48	12,46	–	–	0,00	27,77	33,37	–	–
Custo total esperado	68,61	153,50	169,38	1,24	1,47	193,75	334,80	362,83	0,73	0,87

¹⁰ O traço (–) significa que o valor em causa não está definido.

Anexo VIII - Resumo de resultados da análise ao pressuposto da duração determinista das tarefas (cont.)

	Projeto 7					Projeto 8				
	Modelo CPM	Simulação (betapert)	Simulação (exponencial)	Variação percentual 1	Variação percentual 2	Modelo CPM	Simulação (betapert)	Simulação (exponencial)	Variação percentual 1	Variação percentual 2
Duração	44,72	57,79	61,03	0,29	0,36	35,50	41,88	43,97	0,18	0,24
Atraso	0,00	12,97	16,50	–	–	0,00	7,82	10,10	–	–
Custo total esperado	131,94	185,55	199,77	0,41	0,51	99,11	123,79	130,51	0,25	0,32

	Projeto 9					Projeto 10				
	Modelo CPM	Simulação (betapert)	Simulação (exponencial)	Variação percentual 1	Variação percentual 2	Modelo CPM	Simulação (betapert)	Simulação (exponencial)	Variação percentual 1	Variação percentual 2
Duração	178,57	224,35	234,22	0,26	0,31	46,98	54,93	56,78	0,17	0,21
Atraso	0,00	47,45	58,59	–	–	0,00	9,23	11,38	–	–
Custo total esperado	509,13	800,01	866,34	0,57	0,70	100,05	165,35	180,33	0,65	0,80

	Variação média percentual 1	Variação média percentual 2
Duração	30,14%	35,64%
Custo total esperado	70,11%	83,77%

Anexo IX - Resumo de resultados da análise ao pressuposto de só ser relevante incerteza no caminho crítico

	Projeto 1			Projeto 2			Projeto 3			Projeto 4		
	Modelo PERT	Simulação (betapert)	Variação percentual	Modelo PERT	Simulação (betapert)	Variação percentual	Modelo PERT	Simulação (betapert)	Variação percentual	Modelo PERT	Simulação (betapert)	Variação percentual
Duração	15,00	16,07	0,07	115,00	115,22	0,00	62,90	64,58	0,03	100,00	106,24	0,06
Atraso	0,35	0,81	1,32	2,50	3,27	0,31	0,35	1,65	3,67	4,45	6,38	0,43
Variância	3,47	3,57	0,03	131,25	174,01	0,33	12,06	32,07	1,66	277,78	199,01	-0,28
Desvio-padrão	1,86	1,89	0,01	11,46	13,19	0,15	3,47	5,66	0,63	16,67	14,11	-0,15
Custo total esperado	29,98	31,03	0,03	209,99	216,77	0,03	134,66	141,60	0,05	286,84	295,66	0,03

	Projeto 5			Projeto 6			Projeto 7			Projeto 8		
	Modelo PERT	Simulação (betapert)	Variação percentual	Modelo PERT	Simulação (betapert)	Variação percentual	Modelo PERT	Simulação (betapert)	Variação percentual	Modelo PERT	Simulação (betapert)	Variação percentual
Duração	26,67	27,87	0,05	62,08	66,65	0,07	44,72	45,76	0,02	35,50	35,60	0,00
Atraso	0,36	0,89	1,45	1,30	3,52	1,70	0,62	0,98	0,58	0,63	0,82	0,31
Variância	4,78	5,48	0,15	39,07	41,53	0,06	13,98	14,17	0,01	9,59	12,56	0,31
Desvio-padrão	2,19	2,34	0,07	6,25	6,44	0,03	3,74	3,76	0,01	3,10	3,54	0,14
Custo total esperado	71,52	75,94	0,06	200,26	211,83	0,06	134,43	136,21	0,01	100,99	101,88	0,01

	Projeto 9			Projeto 10			Variação média percentual
	Modelo PERT	Simulação (betapert)	Variação percentual	Modelo PERT	Simulação (betapert)	Variação percentual	
Duração	178,57	184,22	0,03	46,98	47,35	0,01	3,46%
Atraso	2,65	4,61	0,74	0,56	0,76	0,36	108,73%
Variância	246,44	238,92	-0,03	11,13	13,06	0,17	24,07%
Desvio-padrão	15,70	15,46	-0,02	3,34	3,61	0,08	9,64%
Custo total esperado	525,00	538,30	0,03	103,96	105,50	0,01	3,31%

Anexo X - Resumo de resultados da análise ao pressuposto de distribuição betapert das durações

	Projeto 1			Projeto 2			Projeto 3			Projeto 4		
	Sim. (betapert)	Simulação (exp.)	Variação	Sim. (betapert)	Simulação (exp.)	Variação	Sim. (betapert)	Simulação (exp.)	Variação	Sim. (betapert)	Simulação (exp.)	Variação
Duração	20,54	21,09	0,03	130,82	134,04	0,02	83,87	87,03	0,04	143,90	150,46	0,05
Atraso	6,62	7,54	0,14	26,99	32,12	0,19	22,31	26,31	0,18	45,92	53,55	0,17
Variância	112,35	177,09	0,58	2947,70	4337,77	0,47	875,53	1409,59	0,61	4272,14	6750,15	0,58
Desvio-padrão	10,60	13,31	0,26	54,29	65,86	0,21	29,59	37,54	0,27	65,36	82,16	0,26
Custo total esp.	42,82	44,52	0,04	408,16	448,75	0,10	246,25	265,99	0,08	458,23	488,88	0,07

	Projeto 5			Projeto 6			Projeto 7			Projeto 8		
	Sim. (betapert)	Simulação (exp.)	Variação	Sim. (betapert)	Simulação (exp.)	Variação	Sim. (betapert)	Simulação (exp.)	Variação	Sim. (betapert)	Simulação (exp.)	Variação
Duração	37,18	38,92	0,05	89,57	94,49	0,05	57,79	61,03	0,06	41,88	43,97	0,05
Atraso	10,48	12,46	0,19	27,77	33,37	0,20	12,97	16,50	0,27	7,82	10,10	0,29
Variância	143,31	239,37	0,67	1054,75	1823,68	0,73	273,17	455,71	0,67	179,39	269,81	0,50
Desvio-padrão	11,97	15,47	0,29	32,48	42,70	0,31	16,53	21,35	0,29	13,39	16,43	0,23
Custo total esp.	153,50	169,38	0,10	334,80	362,83	0,08	185,55	199,77	0,08	123,79	130,51	0,05

	Projeto 9			Projeto 10			Variação média percentual
	Sim. (betapert)	Simulação (exp.)	Variação	Sim. (betapert)	Simulação (exp.)	Variação	
Duração	224,35	234,22	0,04	54,93	56,78	0,03	4,20%
Atraso	47,45	58,59	0,23	9,23	11,38	0,23	20,97%
Variância	4667,97	7251,90	0,55	236,03	352,48	0,49	58,56%
Desvio-padrão	68,32	85,16	0,25	15,36	18,77	0,22	25,88%
Custo total esp.	800,01	866,34	0,08	165,35	180,33	0,09	7,78%

