

GERENCIAMENTO DE PROJETO: PERT E CPM

VISÃO GERAL DO CAPÍTULO

- 14.1 Introdução
- 14.2 Um projeto típico: a operação do cartão de crédito da Global Oil
- 14.3 O caminho crítico – cumprindo o prazo final de entrega da diretoria
- 14.4 Variabilidade nos tempos de atividade
- 14.5 Um resumo da análise PERT
- 14.6 CPM e compensações entre tempo e custo
- 14.7 Gerenciamento do custo do projeto: PERT/Custo
- 14.8 Gerenciamento de projeto com o *software* Microsoft Project
- 14.9 Observações sobre implementação
- 14.10 Resumo

Termos-chave

Exercícios de revisão

Problemas

Referências

A teoria na prática

Por favor, quando acontece o nado sincronizado? A ciência de administração vai à Olimpíada de Barcelona

Como anfitriã dos jogos olímpicos, a cidade de Barcelona tinha um problema extremamente complexo de logística: agendar mais de 2.000 eventos em um período de 15 dias. O problema não era apenas muito complexo, mas incluía várias restrições diferentes, algumas delas não encontradas normalmente no agendamento de projetos mais conhecidos.

Primeiro eram os relacionamentos de precedência – por exemplo, as rodadas de qualificação obviamente teriam de acontecer antes das quartas de finais, das semifinais e das finais. Em seguida, havia a necessidade de distribuir os eventos, tanto no tempo como no espaço. Uma preocupação era evitar congestionamentos que poderiam ocorrer se dois ou mais eventos populares fossem agendados em instalações próximas e ao mesmo tempo. Mas, mesmo quando diferentes locais estavam envolvidos, era desejável agendar os eventos mais atraentes em momentos diferentes, para permitir o maior público possível no maior número possível de eventos. Os requisitos da cobertura televisiva ao vivo de eventos diferentes em fusos horários diferentes também tiveram de ser considerados. Por exemplo, o interesse em jogos de futebol seria alto na Europa, África e América do Sul, mas não na América do Norte. Por fim, havia restrições quanto ao equipamento disponível (como câmeras de TV) e de pessoal (por exemplo, segurança).

Esse problema complexo forneceu um desafio interessante a dois professores da Universidade Politécnica da Catalunha em Barcelona. Logo se tornou evidente que nenhum programa existente era adequado a essa tarefa. Assim, os dois professores desenvolveram uma coleção de algoritmos interativos para apoiar o *software* de gerenciamento de projeto mais convencional, com um conjunto de auxiliares gráficos para ajudar a comparar características diferentes da agenda.

Descobriu-se que era melhor inicialmente criar um calendário (atribuindo competições aos dias) para então refinar o quadro de horários precisamente, de acordo com os eventos em cada dia. Es-

sa estratégia permitiu que agendas iniciais fossem geradas rapidamente. Também provou ser útil trabalhar com divisões de tempo maiores e menores que um “evento”.

- Os modeladores descobriram que cada esporte tinha seu ritmo próprio, e uma boa idéia era pensar em termos de blocos de dias que se encaixavam nesse ritmo. Para um determinado esporte, por exemplo, o mais adequado poderia ser agendar três dias consecutivos de competições eliminatórias, um dia de folga e depois as finais.
- Igualmente útil era o conceito de “unidade” – uma parte de um evento com interesses intrínsecos como de um espetáculo. Assim, o final da maratona, por exemplo, foi tratado como uma unidade.

A função objetivo do processo de agendamento incorporou vários critérios, cada um dos quais foi avaliado em uma escala numérica. Dentre esses critérios, estavam a continuidade (o número de dias entre a primeira e a última atividade de um evento particular) e o perfil temporal (uma medida de como a agenda distribuía as atividades por todo um período de duas semanas, comparado com uma distribuição ideal).

O problema da programação da TV poderia ser formulado como um modelo de programação inteiro binário, mas resolver esse problema exigiria uma quantidade impraticável de tempo de computador. Em vez disso, um algoritmo mais simples, projetado para essa situação, provou ser útil no desenvolvimento de quadros de horários adequados às necessidades do público específico.

Uma característica importante do sistema resultante, chamado SUCCESS92, é sua velocidade e flexibilidade. No caso de problemas climáticos, uma agenda alternativa poderia ser rapidamente construída. O SUCCESS92 foi recebido com grande entusiasmo pelos organizadores dos jogos. (Ver Andreu e Corominas.)

14.1 Introdução

A tarefa de gerenciar projetos importantes é uma arte antiga e honrada. Por volta de 2600 A.C., os egípcios construíram a grande pirâmide para o rei Khufu. O historiador grego Heródoto sustentava que 400 mil homens trabalharam por 20 anos para construir essa estrutura. Embora esses números sejam agora questionados, não há dúvidas sobre a grandiosidade do projeto. O Gênesis relata que a Torre de Babel não foi concluída porque Deus tornou impossível a comunicação entre os construtores. Esse projeto tem importância especial, uma vez que estabelece um precedente histórico da prática popular de citar a intervenção divina como fundamento lógico para a falha.¹

¹ O *Chicago Tribune* (5 de agosto de 1977) fez o seguinte comentário sobre o apagão em Nova York em julho daquele ano: “Con Ed chamou o desastre um ato de Deus”.

Projetos modernos que variam desde a construção de um *shopping center* até a ida do homem à lua são espantosamente grandes, complexos e caros. Concluir esses projetos pontualmente e dentro do orçamento não é uma tarefa fácil. Em particular, veremos que os problemas complexos da programação desses projetos freqüentemente são estruturados por meio da interdependência de atividades. Em geral, certas atividades não podem ser iniciadas antes que outras tenham sido concluídas. Ao lidar com projetos que provavelmente envolvem milhares dessas relações de dependência, não surpreende o fato de que os gerentes busquem métodos efetivos de análise. Eis algumas perguntas importantes a serem respondidas neste capítulo:

1. Qual é a data esperada para a conclusão do projeto?
2. Qual é a “variabilidade” potencial dessa data?
3. Quais são as datas de início e de conclusão agendadas para cada atividade específica?

4. Que atividades são *críticas* no sentido de que devem ser concluídas exatamente como agendado a fim de atender a data prevista para a conclusão do projeto global?
5. Quanto tempo as atividades *não-críticas* podem ser postergadas sem causar atraso na data de conclusão global?
6. Como os recursos poderiam ser concentrados de maneira mais efetiva nas atividades a fim de acelerar a conclusão de um projeto?
7. Quais controles podem ser exercitados sobre os fluxos de gastos das várias atividades por toda a duração do projeto a fim de que o orçamento total possa ser obedecido?

Os métodos **PERT** e **CPM**, acrônimos para Program Evaluation Review Technique e Critical Path Method, respectivamente, fornecerão as respostas a essas perguntas. Cada uma dessas estratégias de programação representa um projeto como uma rede e, conseqüentemente, o material deste capítulo pode ser visualizado como uma extensão das redes deterministas discutidas no Capítulo 5. Quando um projeto envolve elementos incertos, sua representação exige uma rede estocástica, o que introduz um nível adicional de complexidade não presente no Capítulo 5.

A PERT foi desenvolvida no final dos anos 50 pela Navy Special Projects Office, em cooperação com a empresa de consultoria de gerenciamento Booz, Allen e Hamilton. A técnica recebeu muita publicidade favorável devido a sua utilização na engenharia e no desenvolvimento do programa do míssil Polaris, um projeto complexo do qual faziam parte 250 empresas contratadas e mais de 9 mil subcontratadas. Desde aquela ocasião, essa técnica foi amplamente adotada em outros órgãos governamentais e no setor industrial e tem sido aplicada a projetos tão diversos como a construção de fábricas, de edifícios e rodovias, no gerenciamento de pesquisas, no desenvolvimento de produtos, na instalação de novos sistemas de computação e assim por diante. Hoje em dia, muitas empresas e órgãos governamentais exigem que todas as empresas contratadas utilizem a PERT.

O CPM foi desenvolvido em 1957 por J. E. Kelly, da Remington Rand, e M. R. Walker, da Du Pont. Ele difere da PERT principalmente quanto aos detalhes de como o tempo e o custo são tratados. De fato, na implementação real, as distinções entre PERT e CPM tornaram-se inexistentes, uma vez que as empresas integraram os melhores recursos dos dois sistemas aos seus próprios esforços de gerenciar projetos efetivamente. A implementação da PERT e do CPM teve um impacto imediato sobre o a programação dos projetos porque permitia a prática do “gerenciamento por exceção”. Embora possa haver 10 mil atividades no curso de um projeto, talvez apenas 150 delas seriam “críticas” e precisariam ser acompanhadas de perto. Para colocar um norte-americano na lua na época do projeto Apollo, a North American Aviation utilizou a PERT para antecipar em seis semanas sua parte nesse projeto. Havia mais de 32 mil eventos e centenas de milhares de atividades, mas somente algumas centenas precisavam monitoramento constante.

Mantendo nossa filosofia por todo este livro, abordamos o assunto do gerenciamento de projetos em dois níveis. Primeiramente, as técnicas essenciais serão desenvolvidas com um

exemplo ilustrativo de fácil compreensão. Após, o uso de planilha será ilustrado para indicar como você utilizaria as técnicas em uma aplicação do mundo real em larga escala.

14.2 Um projeto típico: a operação do cartão de crédito da Global Oil

Nenhuma pessoa sustentaria que essa operação é como construir a grande pirâmide, mas a mudança iminente das operações de cartão de crédito do escritório local, em Dallas, para Des Moines, Iowa, é um projeto importante para Rebecca Goldstein e para a Global Oil. A diretoria da Global especificou um prazo final de entrega rígido de 22 semanas para a mudança ser realizada. Becky é a gerente do grupo de análise de operações. Ela é responsável por planejar a mudança, garantindo que tudo saia de acordo com o plano e assegurando que o prazo final de entrega seja cumprido.

A mudança é difícil de coordenar, pois envolve vários departamentos dentro da empresa. Uma imobiliária deve selecionar um dos três locais disponíveis para o escritório. O departamento de pessoal tem de determinar quais funcionários em Dallas serão transferidos, quantos funcionários novos serão contratados e quem os treinará. O grupo que cuida dos sistemas e o escritório de custos deve organizar e implementar os procedimentos operacionais e o planejamento financeiro da nova operação. Os arquitetos terão de projetar o espaço interno e supervisionar as melhorias estruturais necessárias. Cada um dos locais que a Global está considerando é um edifício existente com a quantidade apropriada de espaço livre. Entretanto, divisões dos escritórios, instalações para computadores, mobiliário e assim por diante – tudo deve ser providenciado.

Um segundo fator que complica é a existência de uma interdependência de atividades. Em outras palavras, algumas partes do projeto não podem iniciar até que outras sejam concluídas. Considere dois exemplos óbvios: a Global não pode construir o interior de um escritório antes que ele tenha sido projetado; novos funcionários não podem ser contratados até que tenham sido determinados os requisitos de pessoal.

A lista de atividades

Becky sabe que os métodos PERT e CPM são feitos especificamente para esse tipo de projeto e ela não perde tempo para começar. O primeiro passo no processo é definir as atividades no projeto e estabelecer os relacionamentos de precedência adequados. Esse é um primeiro passo importante, uma vez que erros ou omissões nessa fase podem levar a uma programação desastrosamente imprecisa. A Tabela 14.1 mostra a primeira **lista de atividades** que Becky prepara para a mudança (as colunas rotuladas como Tempo e Recursos são indicações do que está por vir). Essa é a parte *mais importante* de qualquer projeto PERT ou CPM e, normalmente, é feita envolvendo várias pessoas, de modo que nenhuma atividade importante esteja ausente. Isso deve ser um esforço em grupo – e não feito de maneira isolada! Conceitualmente, a Tabela 14.1 é simples e direta. Cada atividade é colocada em uma linha separada, e seus

Tabela 14.1 Primeira lista de atividades

Atividade	Descrição	Predecessores	Tempo	Recursos
		imediatos		
A	Selecionar o local do escritório	–		
B	Criar o plano organizacional e financeiro	–		
C	Determinar os requisitos de pessoal	B		
D	Projetar a instalação	A, C		
E	Construir o interior	D		
F	Selecionar o pessoal que será transferido	C		
G	Contratar novos funcionários	F		
H	Registros da mudança, pessoal-chave, etc.	F		
I	Fazer o planejamento financeiro com as instituições em Des Moines	B		
J	Treinar o pessoal novo	H, E, G		

predecessores imediatos são registrados na mesma linha. Os predecessores imediatos de uma atividade são aquelas atividades que devem ser concluídas antes do início da atividade em questão. Por exemplo, na Tabela 14.1, vemos que a Global não pode iniciar a atividade C, determinar os requisitos de pessoal, até que a atividade B, criar o plano organizacional e financeiro, tenha sido concluída. De maneira semelhante, a atividade G, contratar novos funcionários, não pode começar até que a atividade F, selecionar o pessoal da Global que será transferido do Texas para Iowa, seja concluída. Essa atividade, F, por sua vez, não pode iniciar até que a atividade C, determinar requisitos de pessoal, seja concluída.

A lista de atividades com predecessores imediatos e as estimativas de tempo a serem obtidas fornecerão os ingredientes fundamentais para responder as primeiras cinco perguntas do início deste capítulo. Veremos em breve como a PERT e o CPM são utilizados para produzir essas respostas. Mas, na prática, outra estratégia gráfica, o gráfico de Gantt, também é comumente utilizada para resolver esses problemas. Portanto, fazemos uma pequena digressão para considerar esse precursor das estratégias de rede (PERT e CPM), antes de retornar à principal assertiva deste capítulo.

O gráfico de Gantt

O gráfico de Gantt foi desenvolvido, em 1918, por Henry L. Gantt e continua a ser uma ferramenta popular no agendamento de produção e de projeto. Sua simplicidade e exibição gráfica clara o tornaram um dispositivo útil para problemas de agendamento simples. O gráfico de Gantt para o problema da Becky está mostrado na Figura 14.1. Cada atividade está listada no eixo vertical. O eixo horizontal é o tempo, e a duração antecipada e real de cada atividade é representada por uma barra com a duração apropriada. O gráfico também indica o tempo de *início mais próximo possível* para cada atividade. Por exemplo, a atividade C não pode iniciar antes do tempo 5, uma vez que, de acordo com a Tabela 14.1, a atividade B deve ser

concluída antes que a atividade C possa iniciar. À medida que cada atividade (ou parte dela) é concluída, a barra apropriada é sombreada. Assim, a qualquer momento, torna-se claro quais atividades estão no tempo previsto na agenda e quais não estão. O gráfico de Gantt da Figura 14.1 mostra que, até a semana 13, as atividades D, E e H estão atrasadas, enquanto a atividade G foi concluída (porque ela está sombreada) e, conseqüentemente, está adiantada.

Esse exemplo simples mostra como o gráfico de Gantt é utilizado principalmente como um dispositivo de manutenção de registros para acompanhar a progressão no tempo da divisão de tarefas de um projeto. Como mostra a Figura 14.1, podemos ver quais tarefas individuais estão adiantadas ou atrasadas. Neste ponto, é importante salientar que, no contexto do gráfico de Gantt, a palavra “adiantada” significa que “ela foi concluída dentro do tempo previsto para a conclusão”. Assim, a Figura 14.1 mostra que D e H poderiam ter sido concluídas, no máximo, na semana 12. Uma vez que elas não estão concluídas na semana 13, elas estão, nesse sentido, atrasadas. Como veremos, esse é um conceito muito simples para verificar se uma atividade está dentro do prazo. O ponto de vista apropriado deve ser se o *projeto global* está sendo postergado em termos de uma data de conclusão prevista.

O gráfico de Gantt não consegue revelar algumas informações importantes necessárias para responder a essa questão. Por exemplo, o gráfico de Gantt não consegue revelar quais atividades são *predecessoras imediatas* de outras atividades. Na Figura 14.1, pode parecer que F e I são os predecessores imediatos de G, uma vez que G pode iniciar em 10 e F e I podem terminar em 10. Na verdade, contudo, a Tabela 14.1 informa que somente F é um predecessor imediato de G. Um atraso em I *não* afetaria o tempo de início em potencial de G ou de qualquer outra atividade. São essas informações sobre o “predecessor imediato” que devem ser utilizadas para deduzir o impacto sobre o tempo de conclusão do projeto global. Essas últimas informações são de importância óbvia para o gerente. A grande fraqueza

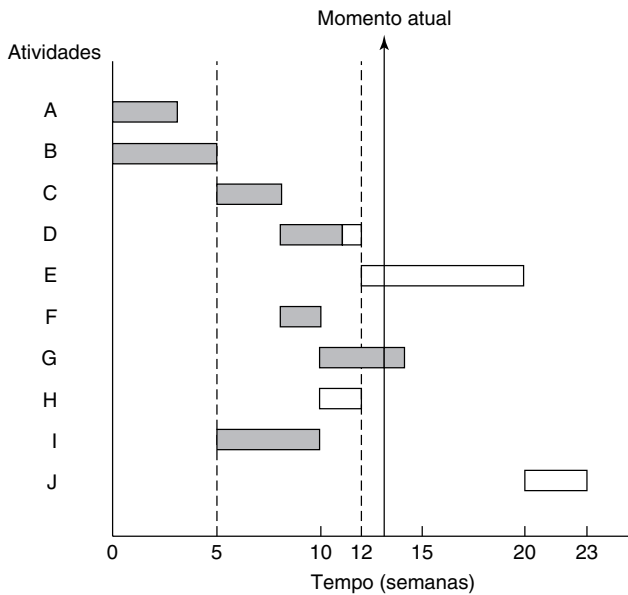


Figura 14.1 Um gráfico de Gantt.

za dos gráficos de Gantt é a não-realização dessas inferências. Agora, veremos que a representação da rede contém as informações sobre o predecessor imediato de que precisamos.

O diagrama de rede

Em um **diagrama de rede** PERT, cada atividade é representada por uma seta chamada **desvio** ou **arco**. O início e o fim de cada atividade são indicados por um círculo chamado **nó**. O termo **evento** também são utilizados em conexão com os nós. Um evento representa a conclusão das atividades que levam a um nó. Consultando a lista de atividades da Tabela 14.1, vemos que “selecionar o local do escritório” denomina-se atividade A. Quando essa atividade é concluída, ocorre o *evento* “local do escritório selecionado”.

Construindo o diagrama de rede A Figura 14.2 mostra um diagrama de rede para as atividades A a C. Enfatizamos desde já que os números atribuídos aos nós são arbitrários. Eles são simplesmente utilizados para identificar os eventos e não têm

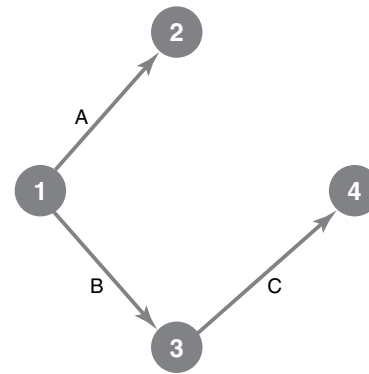


Figura 14.2 O diagrama de rede das atividades de A a C.

nenhuma implicação sobre os relacionamentos de precedência. Na verdade, devemos enumerar novamente o nó que termina a atividade C várias vezes, à medida que desenvolvemos o diagrama de rede desse projeto, mas os *relacionamentos de precedência corretos sempre serão preservados*. No diagrama de rede, cada atividade deve iniciar no nó em que seus predecessores imediatos terminam. Por exemplo, na Figura 14.2, a atividade C inicia no nó ③, porque seu predecessor imediato, a atividade B, termina nesse ponto. Contudo, verificamos que surgem complicações à medida que tentamos adicionar a atividade D ao diagrama de rede. Tanto A como C são predecessores imediatos de D e como queremos mostrar uma atividade qualquer, como D, somente uma vez no nosso diagrama, os nós ② e ④ na Figura 14.2 devem ser combinados e D deve iniciar a partir desse novo nó. Isso é mostrado na Figura 14.3. Agora, o nó ③ representa o evento de que as atividades A e C foram concluídas. Observe que a atividade E, que tem somente D como predecessor imediato, pode ser adicionada sem dificuldade. Entretanto, quando tentamos adicionar a atividade F, surge um novo problema. Como F tem C como predecessor imediato, ela seria proveniente do nó ③ (da Figura 14.3). Vemos, entretanto, que isso implicaria que F também teria A como predecessor imediato, o que é incorreto.

O uso de atividades fictícias Resolve-se esse dilema de diagramação introduzindo uma **atividade fictícia**, representada

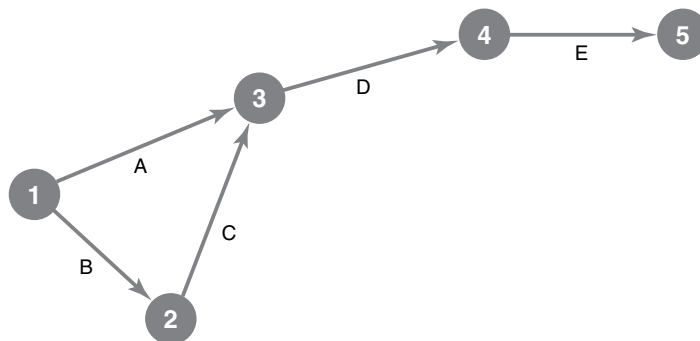


Figura 14.3 Um diagrama de rede parcial.

por uma linha tracejada no diagrama da rede da Figura 14.4. Essa é uma atividade fictícia no sentido de que não requer nenhum tempo ou recurso. Ela simplesmente fornece um esquema pedagógico que permite esboçar uma representação de rede que mantém de maneira correta os relacionamentos de precedência apropriados. Portanto, a Figura 14.4 indica que a atividade D pode iniciar somente depois que as atividades A e C tiverem sido concluídas. De maneira semelhante, a atividade F pode ocorrer somente depois que a atividade C estiver concluída.

Podemos generalizar o procedimento da adição de uma atividade fictícia, como segue. Suponha que desejemos adicionar uma atividade A à rede, iniciando no nó N, mas nem todas as atividades que entram no nó N são predecessoras imediatas da atividade. Crie um novo nó M com uma atividade fictícia, indo do nó M até o nó N. Selecione aquelas atividades que estão entrando no nó N e que são predecessoras imediatas da atividade A, e as redirecione para que entrem no nó M. Agora, faça com que a atividade A inicie no nó M. (As atividades fictícias podem ser evitadas se, em vez de associar atividades com arcos (comumente conhecidas como atividade no arco [activity on the arc – AOA]), associarmos essas atividades aos nós. Um exemplo dessa abordagem de atividade no nó (activity on the node – AON) é apresentado no qua-

dro a seguir. Além disso, toda a discussão na Seção 14.8 utiliza a abordagem AON.

A Figura 14.5 mostra o diagrama da rede para a primeira lista de atividades, conforme apresentada na Figura 14.5. Observamos que as atividades G e H iniciam no nó ⑥ e terminam no nó ⑦. Isso não é um problema ao retratar os relacionamentos de precedência apropriados, uma vez que somente a atividade J inicia no nó ⑦. Mas isso poderia criar um problema para certos pacotes de *software* utilizados para resolver problemas de PERT e CPM. Em alguns desses programas, cada atividade é identificada pelo número do seu nó inicial e final. Se esses programas fossem utilizados, a representação da G e H na Figura 14.5 faria com que o computador as considerasse uma mesma atividade. Isso seria incorreto, uma vez que, na realidade, as atividades G e H não são idênticas.

Uma atividade fictícia pode ser utilizada para resolver essa condição. A Figura 14.6 ilustra o procedimento. Como a atividade fictícia não requer nenhum tempo, o tempo e os relacionamentos precedentes corretos são mantidos. Essa nova representação foi introduzida na Figura 14.7. Muitos pacotes de *software* não exigem que essas atividades fictícias sejam inseridas. Portanto, para nossos propósitos, elas servem principalmente ao objetivo pedagógico de retratar corretamente as relações de precedência (isto é, como utilizado na Figura 14.4).

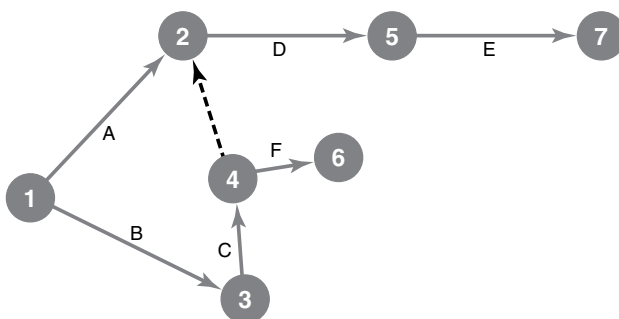


Figura 14.4 Introduzindo uma atividade fictícia ou fantasma.

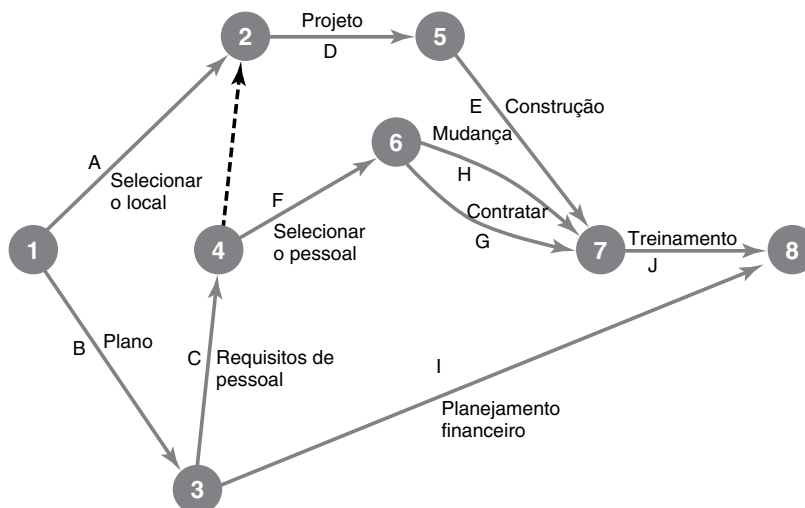


Figura 14.5 Diagrama de rede para a primeira lista de atividades da mudança para Des Moines.

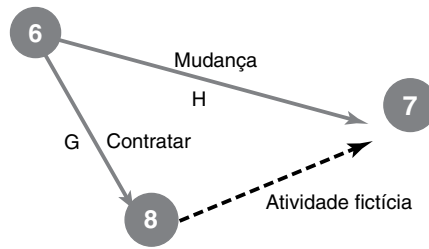


Figura 14.6 Introduzindo uma segunda atividade fictícia.

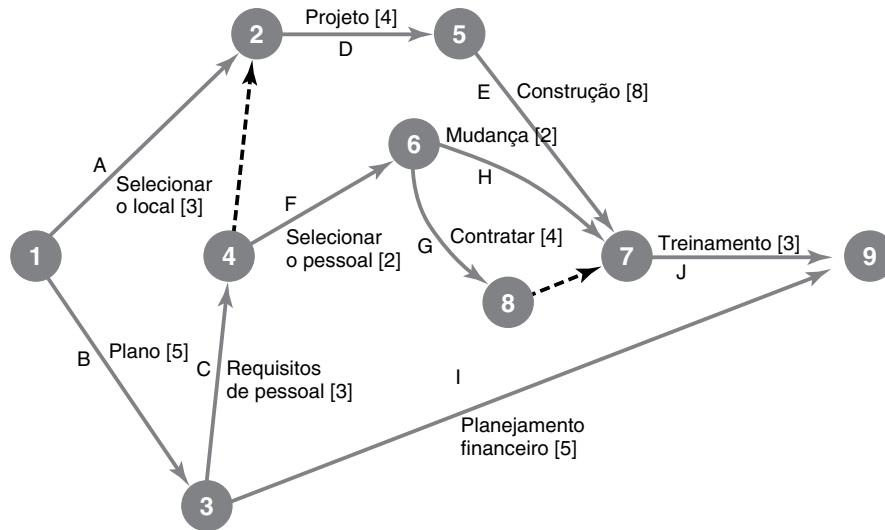
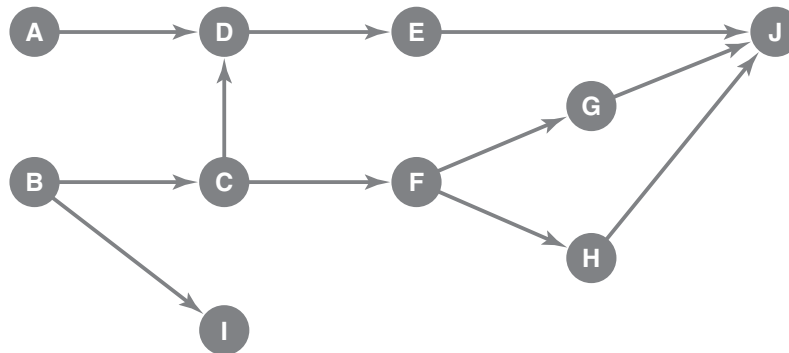


Figura 14.7 Diagrama de rede com os tempos de atividade esperados.

Exemplo de uma atividade nos nós

Na abordagem da atividade nos nós (*activity-on-nodes*) para representação de um projeto como rede, as atividades são associadas aos nós da rede, enquanto os arcos da rede exibem os relacionamentos de precedência. A rede da Global Oil na Figura 14.5 seria representada como mostrado a seguir. Por exem-

plo, a atividade J tem as atividades E, G e H como as predecessoras imediatas, porque existem arcos entrando em J, a partir dos nós rotulados como E, G e H. Observe que não há nenhuma dificuldade especial em tornar A e C predecessores imediatos de D, e C (mas não A), um predecessor imediato de F.



14.3 O caminho crítico – cumprindo o prazo final de entrega da diretoria

A lista de atividades e um diagrama de rede apropriado são dispositivos úteis para representar os relacionamentos de precedência entre as atividades em um projeto. Lembre-se de que a diretoria estabeleceu um objetivo rígido de 22 semanas para que o projeto global seja concluído. Antes que Becky possa dizer se pode cumprir esse objetivo, ela terá de incorporar estimativas de tempo ao processo.

O método PERT-CPM exige que a gerência produza uma estimativa do tempo esperado para completar cada atividade da lista de atividades. Vamos supor que Becky tenha trabalhado com os departamentos apropriados na Global para chegar às estimativas de tempo esperadas (em semanas) mostradas na Tabela 14.2 (na Seção 14.4, discutiremos com mais detalhes a maneira como essas estimativas de tempo foram produzidas). A Figura 14.7 mostra o diagrama de rede com os tempos de atividades esperados colocados entre colchetes.

O cálculo do caminho crítico

Na Tabela 14.2, você pode ver (somando os tempos esperados das atividades separadas) que o tempo de trabalho total exigido para completar todas as atividades individuais seria de 39 semanas. Entretanto, o tempo total no calendário exigido para concluir todo o projeto pode ser claramente menor do que 39 semanas, pois muitas atividades podem ser realizadas simultaneamente. Por exemplo, a Figura 14.7 mostra que as atividades A e B pode ser iniciadas ao mesmo tempo. A atividade A leva 3 semanas e a B leva 5 semanas. Se a gerência planejar o início das duas atividades ao mesmo tempo (no tempo 0 do calendário), ambas serão concluídas no tempo do calendário = 5. Para obter uma previsão do tempo mínimo no calendário exigido para a duração total do projeto, devemos encontrar aquilo que é definido como *caminho crítico* na rede.

Um **caminho** pode ser definido como uma seqüência de atividades conectadas que leva do nó ① inicial até o nó ⑨ de conclusão. Por exemplo, a seqüência de atividades B–I, que exige 10 semanas para ser concluída, é um caminho. O mesmo ocorre com a seqüência B–C–D–E–J, que exige 23 semanas para ser concluída. Você pode identificar vários outros caminhos na Figura 14.7. Para concluir o projeto, as atividades *em todos os caminhos* devem ser concluídas. Nesse sentido, poderíamos dizer que “todos os caminhos devem ser percorridos”. Portanto, acabamos de ver que o nosso projeto levará *peelo menos* 23 semanas para ser concluído, pois o caminho B–C–D–E–J deve ser percorrido. Contudo, vários outros caminhos também devem ser percorridos e alguns deles podem exigir ainda mais tempo. Nossa tarefa será analisar a quantidade total do tempo de calendário exigido para que todos os caminhos sejam percorridos. Portanto, desejamos determinar o *caminho mais longo* do início ao fim. Esse caminho, chamado **caminho crítico**, determinará a duração total do projeto, porque nenhum outro caminho será mais longo. Se as atividades no caminho mais longo forem postergadas, então, como essas atividades devem estar concluídas, o projeto inteiro será atrasado. Por essa razão, as atividades no caminho crítico são chamadas de **atividades críticas** do projeto. É esse subconjunto de atividades que deve ser mantido dentro do prazo.

Esse é um problema oposto àquele do Capítulo 5 (o problema da rota mais curta). Aqui, a rota mais longa do princípio (início) ao final (término) é necessária. Podemos modificar esse problema PERT para um modelo de rota mais curta e utilizar o algoritmo do Capítulo 5 ou modificar o algoritmo para que ele se ajuste ao problema. Nesse caso, é mais fácil modificar o algoritmo.

Tempos de início mais cedo e de conclusão mais cedo

Uma outra diferença entre o problema da rota mais curta e essa rota mais longa (caminho crítico) é que o interesse não está apenas no caminho mais longo na rede, mas nos tempos de

Tabela 14.2 Primeira lista de atividades com o tempo das atividades esperado, em semanas

Atividade	Descrição	Predecessores imediatos	Tempo esperado da atividade	Recursos
A	Selecionar o local do escritório	–	3	
B	Criar um plano organizacional e financeiro	–	5	
C	Determinar os requisitos de pessoal	B	3	
D	Projetar a instalação	A, C	4	
E	Construir o interior	D	8	
F	Selecionar o pessoal que será transferido	C	2	
G	Contratar novos funcionários	F	4	
H	Registros da mudança, pessoal-chave, etc.	F	2	
I	Fazer o planejamento financeiro com as instituições em Des Moines	B	5	
J	Treinar o novo pessoal	H, E, G	3	

início mais cedo e de conclusão mais tarde nos quais cada atividade pode ser iniciada sem afetar a solução atual. Portanto, o que é necessário é a *análise de sensibilidade* de cada atividade e, portanto, encontrar os tempos de início mais cedo e de conclusão mais tarde (e os tempos de término) para cada atividade. Agora, vamos descrever os passos empregados para encontrar um caminho crítico. A parte fundamental nesse processo será o **tempo de início mais cedo** para cada atividade. Para ilustrar essa idéia, considere a atividade D, “recurso de projeto”. Agora, suponha que o projeto inicie no tempo zero e faça a pergunta: “Qual é o tempo mais cedo no qual a atividade D pode iniciar”? Claramente, ela não pode iniciar até que a atividade A seja concluída. Portanto, ela não pode iniciar antes do tempo = 3. Entretanto, ela também não pode iniciar antes que a atividade fictícia (que exige tempo 0) seja concluída. Uma vez que a atividade fictícia não pode iniciar até que B e C sejam concluídas (um total de 8 semanas), verificamos que D não pode iniciar até que 8 semanas tenham passado. Nesse cálculo, é crucial observar que tanto as atividades A como B iniciam no tempo 0. Depois de 3 semanas, A está concluída, mas B ainda exige outras 2 semanas. Depois de um total de 5 semanas, B está concluída e C pode iniciar. Depois de outras 3 semanas, um total de 8 desde o início, C é concluída. Portanto, depois de 8 semanas, tanto A como C estão concluídas e D pode iniciar. Em outras palavras,

$$\text{tempo de início mais cedo de D} = 8 \text{ semanas}$$

Outro conceito importante é o **tempo de conclusão mais cedo** para cada atividade. Se considerarmos

ES = tempo de início mais cedo para uma dada atividade

EF = tempo de término mais cedo para uma dada atividade

t = tempo de atividade esperado para uma dada atividade

então, para uma dada atividade, a relação entre o tempo de início mais cedo e o tempo de conclusão mais cedo será

$$EF = ES + t$$

Por exemplo, acabamos de mostrar que para a atividade D temos ES = 8. Portanto, para a atividade D,

$$\begin{aligned} EF &= ES + t \\ &= 8 + 4 = 12 \end{aligned}$$

Agora lembramos que cada atividade inicia em um nó. Sabemos que uma dada atividade que sai de um nó não pode ser iniciada até que *todas* as atividades que levam a esse nó tenham sido concluídas. Essa observação leva à seguinte regra.

Regra do tempo de início mais cedo: o tempo ES para uma atividade que sai de um nó particular é o maior dos tempos EF para todas as atividades que entram no nó.

Vamos aplicar essa regra aos nós ①, ②, ③ e ④ da rede da Becky, Figura 14.7. O resultado está mostrado na Figura 14.8. Escrevemos entre colchetes os tempos de início mais cedo e os tempos de conclusão mais cedo para cada atividade ao lado da letra da atividade, como mostrado na Figura 14.8. Observe que a regra do tempo de início mais cedo aplicada à atividade D informa que o ES (início mais cedo – *earliest start*) para a atividade D é igual ao maior valor dos tempos EF (conclusão mais cedo – *earliest finish*) para as duas atividades C (através da atividade fictícia) e A precedentes. Portanto, o ES para D é o maior dos dois valores [8, 3], que é 8.

Continuando em cada nó, **da esquerda para a direita** por toda a rede, os valores [ES, EF] são então calculados para cada atividade. O resultado está mostrado na Figura 14.9. Observe que o tempo de conclusão mais cedo para J é de 23 semanas. Isso significa que o tempo de conclusão mais cedo para todo o projeto é de 23 semanas. Isso responde à primeira das perguntas relacionadas na Seção 14.1: “Qual é a data esperada para a conclusão do projeto?”

Tempos de início mais tarde e de conclusão mais tarde A fim de identificar as possíveis datas de início e de conclusão, as atividades no caminho crítico e por quanto tempo as atividades não-críticas podem ser postergadas sem afetar a data da conclu-

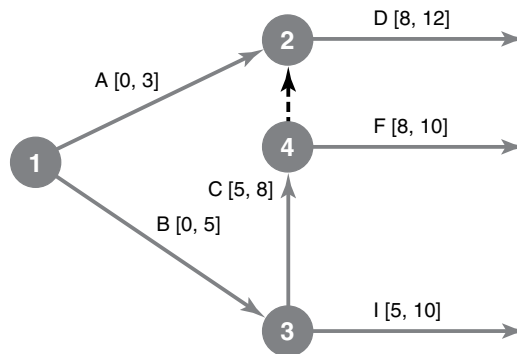


Figura 14.8 Regra do tempo de início mais cedo.

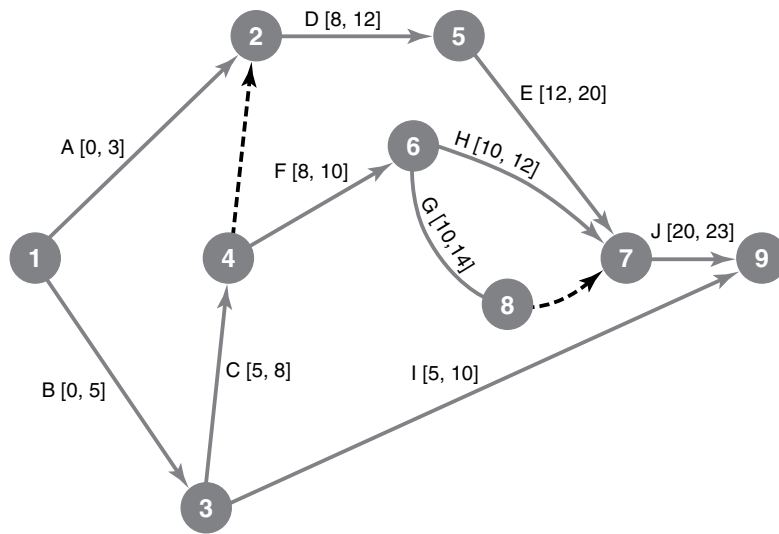


Figura 14.9 A rede da Global Oil com os tempos de início mais cedo e de conclusão mais cedo mostrados.

são total (respondendo a terceira, a quarta e a quinta perguntas da Seção 14.1), prosseguimos agora com um cálculo da **direita para a esquerda**. A idéia é que, como agora temos uma data de conclusão definida (23 semanas a partir do início do projeto), podemos trabalhar de trás para frente a partir dessa data, determinando a data *mais tarde* em que cada atividade pode terminar sem retardar o projeto inteiro. A passagem da direita para a esquerda inicia no nó de conclusão, o nó (9). Em seguida, percorremos a rede no sentido inverso, calculando o que é chamado de **tempo de início mais tarde** e **tempo de conclusão mais tarde** para cada atividade. Nos símbolos,

LS = tempo de início mais tarde para uma atividade particular

LF = tempo de conclusão mais tarde para uma atividade particular

A relação entre essas quantidades é

$$LS = LF - t$$

Para a atividade J, definimos o tempo de conclusão mais tarde como sendo o mesmo do seu tempo de conclusão mais próximo, que é 23. Conseqüentemente, para a atividade J,

$$LS = LF - t = 23 - 3 = 20$$

Uma vez que o tempo de início mais tarde para a atividade J é 20, o mais tardiamente que as atividades E, H e G podem acabar é 20. Portanto, o mais tardiamente que E pode iniciar é $20 - 8 = 12$, o mais tardiamente que H pode iniciar é $20 - 2 = 18$ e o mais tardiamente que G pode iniciar é $20 - 4 = 16$. Determinar o tempo de conclusão mais tarde para a atividade F é um pouco mais complicado. Aplicamos a seguinte regra geral:

Regra do tempo de conclusão mais tarde: o tempo LF para uma atividade que entra em um nó particular é o *menor* dos tempos ES para todas atividades que saem desse nó.

Portanto, para a atividade F, que entra no nó (6), aplicamos a regra para verificar $LF = 16$, porque os tempos de início mais dis-

tantes para as atividades que saem do nó (6) (atividades H e G) são 18 e 16. A rede completa, com as entradas LS e LF, está mostrada na Figura 14.10. Essas entradas aparecem entre colchetes no arco de cada atividade, diretamente sob os tempos ES e EF.

Folga e o caminho crítico Com base na Figura 14.10, o próximo passo do algoritmo é identificar outro valor importante, o valor da folga, ou tempo livre, associado a cada atividade. **Folga** é o período de tempo em que uma atividade pode ser postergada sem afetar a data de conclusão do projeto global. *Folga* é o mesmo conceito discutido nos modelos PL e é o tempo extra que poderia ser gasto nesse caminho sem afetar a duração do caminho crítico. Uma verificação matemática fácil e importante é que toda atividade no caminho crítico deve ter a mesma folga, a saber, 0. Para cada atividade, o valor da folga é calculado como

$$\text{folga} = LS - ES = LF - EF$$

Por exemplo, a folga para a atividade G é dada por

$$\begin{aligned} \text{folga para G} &= LS \text{ para G} - ES \text{ para G} \\ &= 16 - 10 \\ &= 6 \end{aligned}$$

e o mesmo valor é dado por

$$LF \text{ para G} - EF \text{ para G} = 20 - 14 = 6$$

Isso significa que a atividade G poderia ser postergada em até 6 semanas além do seu tempo de início mais próximo, sem retardar o projeto total. Por outro lado, a folga associada à atividade C é

$$\begin{aligned} \text{folga para C} &= LS \text{ para C} - ES \text{ para C} \\ &= 5 - 5 \\ &= 0 \end{aligned}$$

Portanto, a atividade C não tem nenhuma folga e deve iniciar, conforme agendada, na semana 5. Como essa atividade não po-

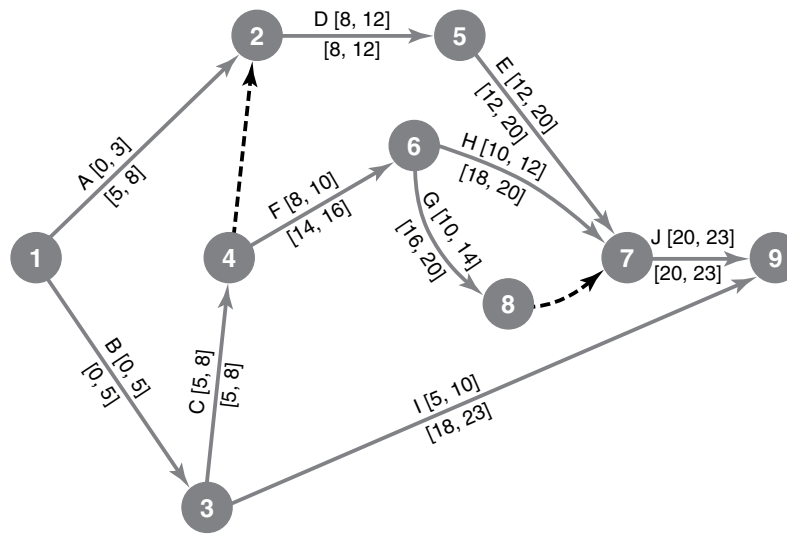


Figura 14.10 A rede da Global Oil com os tempos LS e LF mostrados abaixo das atividades.

de ser postergada sem afetar o projeto inteiro, ela é uma atividade crítica e está no caminho crítico.

Os caminhos críticos da rede PERT também podem ter soluções otimizadas alternativas (novamente, como ocorre na PL). Se a atividade F levou 8 semanas, então o caminho B-C-F-G-J também seria um caminho crítico.

As atividades no caminho crítico são aquelas com folga zero.

Abordagem de planilha para a rede A solução da planilha (GLOBAL.XLS) desse problema é mais facilmente feita com uma estratégia de atividade no nó. A coluna Conclusão Mais Cedo (E) é a coluna Tempo de Atividade (C), somada a coluna Início Mais Cedo (D). De maneira semelhante, a coluna Início Mais Tarde (F) é a coluna Conclusão Mais Tarde (G), menos a coluna Tempo de Atividade (C). A coluna Folga (H) poderia ser a coluna Início Mais Tarde (F), menos a coluna Início Mais Cedo (D), ou de maneira equivalente, a coluna Conclusão Mais Tarde (G), menos a coluna Conclusão Mais Cedo (E). A fórmula para a duração mínima do projeto na célula E15 é =MAX(E2:E12), o maior tempo de conclusão mais cedo.

A parte incômoda de criar a planilha é inserir as informações que são transmitidas pelo diagrama de rede. Por exemplo, como o tempo de conclusão mais distante da atividade F é o menor dos tempos de início mais tarde das atividades G, H e K, a fórmula na célula G7 é =MIN(F8, F9, F12), como mostrado na Figura 14.11. Como o tempo de início mais cedo da atividade D é o maior dos tempos de conclusão mais cedo das atividades A e C, a fórmula na célula D5 é =MAX(E2, E4). Observe que a palavra “Sim” é impressa na coluna “Crítico?” para aquelas atividades com folga zero. Portanto, podemos ver a partir da saída dessa planilha que o caminho crítico para o projeto da Becky é B-C-D-E-J. O tempo total mínimo de conclusão é de 23 semanas, que é a

soma dos tempos no caminho crítico, bem como o tempo de conclusão mais próximo da última atividade, (J). A Figura 14.11 também fornece as respostas para as perguntas 3, 4 e 5 levantadas na Seção 14.1. Em outras palavras, respondemos, até agora, as seguintes perguntas daquela seção.

1. Qual é a data esperada para a conclusão do projeto?

Resposta: 23 semanas.

2. Quais são as datas de início e de conclusão programadas para cada atividade específica?

Resposta: uma atividade pode ser programada para iniciar em qualquer data entre “o início mais cedo” e “início mais tarde”. A data de conclusão agendada será a “data de início + tempo de atividade esperado”. Por exemplo, a atividade G pode ser agendada para iniciar em qualquer momento entre tempo = 10 e tempo = 16. Como mostrado na Tabela 14.2, o tempo esperado da atividade é de 4 semanas. Conseqüentemente, a data de conclusão agendada será “data de início + 4”.

3. Que atividades são *críticas* no sentido de que devem ser concluídas exatamente como agendado a fim de atender a data prevista para a conclusão do projeto global?

Resposta: as atividades no caminho crítico: a saber, B C, D, E, J.

4. Quanto tempo as atividades *não-críticas* podem ser postergadas antes de incorrer em um atraso na data da conclusão global?

Resposta: qualquer atividade pode iniciar no máximo na data do “início mais tarde” sem retardar a conclusão do projeto global.

D11	=MAX(E6,E8,E9)								
1	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Atividade	Descrição	Tempo	IMC	CMC	IMC	CMT	Folga	Crítico?
2	A	Escolher Lugar	3	0	3	5	8	5	Não
3	B	Criar Plano	5	0	5	0	5	0	Sim
4	C	Exig. Pessoais	3	5	8	5	8	0	Sim
5	D	Projetar Instal.	4	8	12	8	12	0	Sim
6	E	Construir	8	12	20	12	20	0	Sim
7	F	Selecionar Pessoal	2	8	10	14	16	6	Não
8	G	Contratar Func.	4	10	14	16	20	6	Não
9	H	Registros Mudança	2	10	12	18	20	8	Não
10	I	Fazer Plan. Financ.	5	5	10	18	23	13	Não
11	J	Treinar	3	20	23	20	23	0	Sim
12	Extensão Mínima do Projeto				23				

Célula	Fórmula	Copiar Para
D4	=MÁXIMO(E3)	—
D5	=MÁXIMO(E2,E4)	—
D6	=MÁXIMO(E5)	—
D7	=MÁXIMO(E4)	—
D8	=MÁXIMO(E7)	—
D9	=MÁXIMO(E7)	—
D10	=MÁXIMO(E3)	—
D11	=MÁXIMO(E6,E8,E9)	—
E2	=D2+C2	E3:E11
F2	=G2-C2	F3:F11
G2	=MÍNIMO(F5)	—
G3	=MÍNIMO(F4,F10)	—
G4	=MÍNIMO(F5,F7)	—
G5	=MÍNIMO(F6)	—
G6	=MÍNIMO(F11)	—
G7	=MÍNIMO(F8,F9)	—
G8	=MÍNIMO(F11)	—
G9	=MÍNIMO(F11)	—
G10	=E13	—
G11	=E13	—
H2	=F2-D2	H3:H11
I2	=SE(H2 0,“Sim”,“Não”)	I3:I11
E13	=MÁXIMO(E2:E11)	—

Figura 14.11 Resumo do agendamento de planilha para a Global Oil.

Três perguntas, a saber, 2, 6 e 7, continuam sem respostas. Mas primeiro, antes de prosseguirmos, vamos revisar o que aprendemos. Está claro, a partir da análise do caminho crítico, que Becky tem um problema. A diretoria quer que a operação do cartão de crédito comece a funcionar em Des Moines dentro de 22 semanas e com o plano atual são necessárias 23 semanas. Obviamente, algo deve mudar se esse objetivo tiver de ser cumprido.

Maneiras de reduzir a duração do projeto

Há duas estratégias básicas para reduzir o tempo necessário para completar um projeto:

1. *Uma análise estratégica:* aqui, o analista pergunta: “Esse projeto precisa ser feito da maneira como está diagrama-

do?” Em particular, “todas as atividades no caminho crítico têm de ocorrer na ordem especificada”? Podemos planejar a execução de algumas dessas atividades de uma maneira diferente, fora do caminho crítico?

2. *Uma estratégia tática:* nessa estratégia, o analista presume que o diagrama atual é apropriado e trabalha para reduzir o tempo de certas atividades no caminho crítico, dedicando mais recursos para elas. Os tempos correntes presumem uma certa alocação de recursos. Por exemplo, as 8 semanas da construção (atividade E) presumem um dia normal de 8 horas de trabalho. A empresa contratada pode completar o trabalho mais rapidamente, fazendo horas extras, mas com um aumento nos custos.

A estratégia tática fará com que levemos em consideração os modelos CPM, discutidos na Seção 14.6. Por enquanto, vamos lidar com as chamadas perguntas estratégicas.

Uma análise estratégica Becky inicia com uma análise estratégica, pois está ansiosa por manter o custo da mudança o mais baixo possível. Isso é análogo à análise “e se?” feita com planilhas. Depois de alguns estudos, repentinamente ela percebe que a rede atual presume que a atividade J, o treinamento de novos funcionários, deve ser realizada no novo edifício (depois que E for concluída) e depois que os registros e o pessoal importante tiverem mudado (depois que H for concluída). Depois de reconsiderar, ela acredita que esses requisitos podem ser modificados. Antes de tudo, J pode ser realizada independentemente de H. A especificação prévia de que H deve ser uma predecessora imediata de J simplesmente estava incorreta. Além disso, ela acredita que pode assegurar uma instalação alternativa para o treinamento, utilizando o espaço excedente da sala de aula em Des Moines a um custo mínimo. Em seguida, ela pode fazer com que os novos funcionários recebam o treinamento e estejam prontos para iniciar no momento que a construção terminar. Por outro lado, ela tem de adicionar outra atividade à lista de atividades: assegurar uma instalação de treinamento (a ser definida como a atividade K). Embora ela perceba que essa reorganização possa ser útil, é possível que nessa rede redefinida ela tenha criado um novo caminho crítico, com um tempo mínimo ainda insatisfatório (isto é, um caminho maior do que 22 semanas).

Saída da planilha para a nova rede A Figura 14.12 mostra a lista de atividades redefinida na forma do diagrama de atividade no arco (*activity-on-the-arc* – AOA). Observe que é dada às atividades fictícias uma duração normal (tempo esperado da

atividade) igual a 0. Algumas das entradas (duração de Antecipação, custo Normal e custo de Antecipação) não precisam ser especificadas para essa análise particular. Becky tem de fazer apenas uma quantidade limitada de modificações nos dados de entrada, a partir da sua definição prévia da rede. Portanto, ela deve adicionar a atividade K e modificar os números dos nós de término para as atividades E, G e H. A Figura 14.13 mostra o diagrama de rede para o projeto redefinido no diagrama da atividade no nó (AON).

Becky insere então as informações na planilha (planilha “Redefinida”, no mesmo arquivo GLOBAL.XLS) para resolver o problema, e os resultados mostrados na Figura 14.14 são produzidos. Aqui, verificamos que o projeto redefinido pode ser concluído em 20 semanas (a soma dos tempos no caminho crítico), de modo que o prazo final de entrega da diretoria possa ser cumprido. Também está claro que a atividade “treinamento” (J) não está mais no caminho crítico. Apesar do fato de que são necessárias 3 semanas para assegurar uma instalação de treinamento, a atividade J tem uma folga de 3 semanas. A solução da planilha mostra que o caminho crítico para o projeto redefinido é B-C-D-E. (Lembre-se de que “Sim” na coluna “Crítico?” indica que uma atividade está no caminho crítico.)

14.4 Variabilidade nos tempos de atividade

Vamos agora considerar a segunda pergunta feita na introdução: “Qual é a variabilidade em potencial da data de conclusão esperada do projeto?” Até agora, temos procedido como se os tempos de atividade e todos os valores derivados para ES, LS, EF e LF fossem deterministas. Isso talvez não esteja rigorosamente correto, pois, na realidade, os tempos de atividade freqüentemente

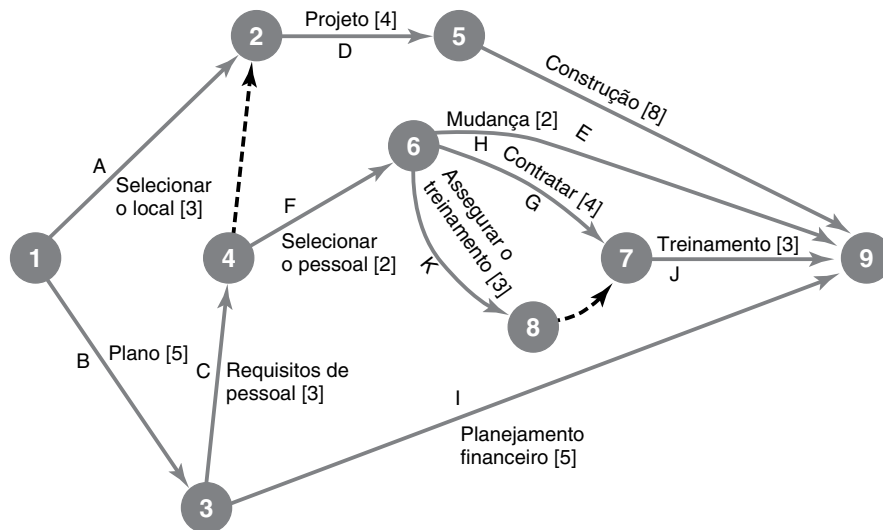


Figura 14.12 Diagrama de rede AOA para a lista de atividades redefinida.

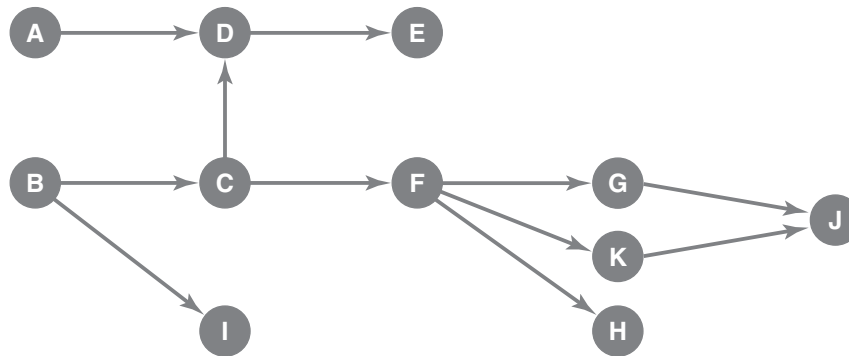


Figura 14.13 Diagrama de rede AON para o projeto redefinido.

não são conhecidos antecipadamente e com total certeza. Sobre esse fato, o PERT emprega uma fórmula especial para estimar os tempos de atividade. Agora, apresentaremos os detalhes e, ao fazermos isso, veremos que a estratégia do PERT também pode ser utilizada para calcular a probabilidade de que o projeto seja concluído dentro de um tempo particular qualquer.

Estimando o tempo esperado da atividade O sistema PERT para estimar os tempos de atividade exige que uma pessoa entenda a atividade em análise razoavelmente bem, para produzir as três estimativas do tempo de atividade:

1. **Tempo otimista** (definido como a): o tempo mínimo. Tudo tem de estar perfeito para alcançar esse tempo.
2. **Tempo mais provável** (definido como m): o tempo mais provável. O tempo requerido sob circunstâncias normais.
3. **Tempo pessimista** (definido como b): o tempo máximo. Uma versão da lei de Murphy é que, se alguma coisa pode dar errado, dará. O tempo pessimista é o tempo requerido quando a Lei de Murphy está em vigor.

Considere, por exemplo, a atividade E, construir o interior. Becky e a empresa contratada examinam cuidadosamente cada fase do projeto de construção e chegam às seguintes estimativas:

$$a = 4$$

$$m = 7$$

$$b = 16$$

O valor relativamente grande para b é causado pela possibilidade de um atraso na entrega da unidade de ar-condicionado para o computador. Se essa unidade sofrer atraso, a atividade inteira será atrasada. Além disso, nesse caso, uma vez que E está no caminho crítico, um atraso nessa atividade atrasará a conclusão do projeto global.

No desenvolvimento original da abordagem PERT (durante o final da década de 50), o procedimento para estimar o valor

esperado dos tempos de atividade era motivado pela suposição de que o tempo de atividade era uma variável aleatória com uma distribuição de probabilidade particular. Essa distribuição (**distribuição beta**) tem um valor mínimo e máximo, diferentemente da distribuição normal, que tem um intervalo infinito de valores. Ela também é capaz de assumir uma ampla variedade de formas, novamente, diferentemente da normal, que sempre é simétrica em relação ao seu valor mais provável. Uma distribuição beta típica é mostrada na Figura 14.15. O valor esperado de uma distribuição beta é aproximadamente $(a + 4m + b)/6$; assim, a fórmula utilizada para estimar o tempo esperado da atividade é

$$\text{estimativa do tempo esperado da atividade} = \frac{a + 4m + b}{6} \quad (14.1)$$

Observe que a estimativa é uma média ponderada dos valores de a , m e b , onde os pesos ($1/6$, $4/6$, $1/6$) somam 1. Isso significa que a estimativa sempre estará entre a e b . Portanto, para a atividade E,

$$\text{estimativa do tempo esperado da atividade} = \frac{4 + 4(7) + 16}{6} = 8$$

Trabalhando com as pessoas certas na Global Oil, Becky utilizou (14.1) para estimar cada um dos tempos de atividade esperados, que foram apresentados na Tabela 14.2 e depois os utilizou na análise do caminho crítico.

Estimando o desvio-padrão de um tempo de atividade

Estima-se o desvio-padrão de um tempo de atividade supondo que existam seis desvios-padrão entre os tempos otimista e pessimista:

$$\text{estimativa do desvio-padrão do tempo da atividade} = \frac{b - a}{6} \quad (14.2)$$

Portanto, para a atividade E,

$$\text{estimativa do desvio-padrão} = \frac{16 - 4}{6} = 2$$

A Tabela 14.3 mostra as três estimativas (a , m , b), os tempos de atividade esperados, o desvio-padrão dos tempos de atividade e a *variância* dos tempos de atividade para a lista de

G7		=MIN(F8,F9,F12)								
1	A	B	C	D	E	F	G	H	I	
Atividade	Descrição	Tempo	IMC	CMC	IMC	CMT	Folga	Crítico?		
2	A	Escolher Lugar	3	0	3	5	8	5	Não	
3	B	Criar Plano	5	0	5	0	5	0	Sim	
4	C	Exig. Pessoais	3	5	8	5	8	0	Sim	
5	D	Projetar Instal.	4	8	12	8	12	0	Sim	
6	E	Construir	8	12	20	12	20	0	Sim	
7	F	Selecionar Pessoal	2	8	10	11	13	3	Não	
8	G	Contratar Func.	4	10	14	13	17	3	Não	
9	H	Registros Mudança	2	10	12	18	20	8	Não	
10	I	Fazer Plan. Financ.	5	5	10	15	20	10	Não	
11	J	Treinar	3	14	17	17	20	3	Não	
12	K	Treinamento Seguro	3	10	13	14	17	4	Não	
13	Extensão Mínima do Projeto				20					

Célula	Fórmula	Copiar Para
D4	=MÁXIMO(E3)	—
D5	=MÁXIMO(E2,E4)	—
D6	=MÁXIMO(E5)	—
D7	=MÁXIMO(E4)	—
D8	=MÁXIMO(E4)	—
D9	=MÁXIMO(E7)	—
D10	=MÁXIMO(E3)	—
D11	=MÁXIMO(E8,E12)	—
D12	=MÁXIMO(E7)	—
E2	=D2+C2	E3:E12
F2	=G2-C2	F3:F12
G2	=MÍNIMO(F5)	—
G3	=MÍNIMO(F4,F10)	—
G4	=MÍNIMO(F5,F7)	—
G5	=MÍNIMO(F6)	—
G6	=E14	—
G7	=MÍNIMO(F8,F9,F12)	—
G8	=MÍNIMO(F11)	—
G9	=E14	—
G10	=E14	—
G11	=E14	—
G12	=MÍNIMO(F11)	—
H2	=F2-D2	H3:H12
I2	=SE(H2 0,“Sim”,“Não”)	I3:I12
E14	=MÁXIMO(E2:E12)	—

Figura 14.14 Solução da planilha para o projeto redefinido.

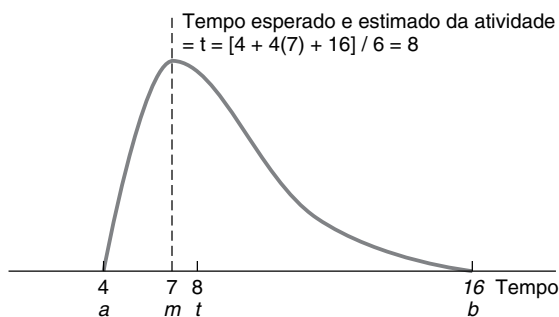


Figura 14.15 Distribuição beta unimodal.

atividades redefinida. A variância é simplesmente o quadrado do desvio-padrão. Ela é útil para registrar a variância de cada atividade, uma vez que esses valores serão utilizados nas declarações sobre a probabilidade de completar o projeto global na data específica.

Em uma aplicação, naturalmente, é possível utilizar qualquer procedimento que pareça apropriado para estimar o valor esperado e o desvio-padrão do tempo de atividade. Na verdade, em algumas circunstâncias, os dados podem estar disponíveis e vários procedimentos estatísticos podem ser utilizados para estimar esses parâmetros do modelo.

Tabela 14.3 Estimativas de tempo

Atividade	<i>a</i>	<i>m</i>	<i>b</i>	Valor esperado ($a + 4m + b$)/6	Desvio-padrão ($b - a$)/6	Variância [($b - a$)/6] ²
A	1	3	5	3	2/3	4/9
B	3	4,5	9	5	1	1
C	2	3	4	3	1/3	1/9
D	2	4	6	4	2/3	4/9
E	4	7	16	8	2	4
F	1	1,5	5	2	2/3	4/9
G	2,5	3,5	7,5	4	5/6	25/36
H	1	2	3	2	1/3	1/9
I	4	5	6	5	1/3	1/9
J	1,5	3	4,5	3	1/2	1/4
K	1	3	5	3	2/3	4/9

Probabilidade de completar o projeto a tempo

O fato de que os tempos de atividade são variáveis aleatórias implica que o tempo de conclusão do projeto também é uma variável aleatória. Isto é, há uma variabilidade potencial no tempo total de conclusão. Mesmo que o projeto redefinido tenha um tempo de conclusão *esperado* de 20 semanas, na verdade não há nenhuma garantia de que ele será concluído dentro de 20 semanas. Se *por acaso* várias atividades demorarem mais do que o tempo esperado, o projeto talvez não seja concluído dentro do prazo desejado de 22 semanas. Em geral, seria útil conhecer a probabilidade de que o projeto seja concluído dentro de um tempo especificado. Em particular, Becky gostaria de saber a probabilidade de que a mudança seja concluída dentro de 22 semanas.

A análise continua como segue:

1. Definir *T* como igual ao tempo total que as atividades no caminho crítico vão consumir.
2. Encontrar a probabilidade de que o valor de *T* venha a ser menor ou igual ao valor de interesse especificado. Em particular, para projeto da Becky encontraríamos $\text{Prob}\{T \leq 22\}$. Uma boa aproximação para essa probabilidade é facilmente encontrada se duas suposições forem verdadeiras.
 - a. *Os tempos da atividade são variáveis aleatórias independentes.* Essa é uma suposição válida para a maioria das redes PERT e parece razoável para problema da Becky. Não há nenhuma razão para acreditar que o tempo para construir o interior deve depender do tempo de projeto e assim por diante.
 - b. *A variável aleatória T tem uma distribuição aproximadamente normal.* Essa suposição conta com o *teorema de limite central*, que, em termos gerais, afirma que a soma das variáveis aleatórias independentes é distribuída de forma aproximadamente normal.

Agora, lembrando que nosso objetivo é encontrar $\text{Prob}\{T \leq 22\}$, onde *T* é o tempo ao longo do caminho crítico, desejamos

converter *T* em uma variável aleatória normal padrão e utilizar a Tabela A.0 do Apêndice para encontrar $\text{Prob}\{T \leq 22\}$. O primeiro passo nesse processo é encontrar o desvio-padrão de *T*. Para fazer isso, precisamos da variância de *T*. Quando os tempos de atividade são independentes, sabemos que a variância do tempo total ao longo do caminho crítico é igual à soma das variâncias dos tempos de atividade no caminho crítico. Portanto, para o problema da Becky

$$\text{var } T = \left(\begin{matrix} \text{variância para} \\ \text{a atividade B} \end{matrix} \right) + \left(\begin{matrix} \text{variância para} \\ \text{a atividade C} \end{matrix} \right) + \left(\begin{matrix} \text{variância para} \\ \text{a atividade D} \end{matrix} \right) + \left(\begin{matrix} \text{variância para} \\ \text{a atividade E} \end{matrix} \right)$$

Utilizar os valores numéricos da Tabela 14.3 produz

$$\text{var } T = 1 + \frac{1}{9} + \frac{4}{9} + 4 = \frac{50}{9}$$

Por fim,

$$\text{des. pad. } T = \sqrt{(\text{var } T)} = \sqrt{\frac{50}{9}} = 2,357$$

Agora, prosseguimos e convertemos *T* em uma variável aleatória normal padrão, *Z*, da maneira habitual: $Z = \frac{T - \mu}{\sigma}$. Lembrando que 20 semanas é a média (isto é, o tempo de conclusão esperado), temos

$$\text{Prob}\{T \leq 22\} = \text{Prob}\left\{ \frac{T - 20}{2,357} \leq \frac{22 - 20}{2,357} \right\}$$

Se consultarmos a Tabela A.0 no final do texto para a área sob uma curva normal a partir da esquerda até um ponto que tenha desvios-padrão de 0,8485 acima da média, descobrimos que a resposta é aproximadamente 0,80. Portanto, há cerca de 80% de chances de que o caminho crítico seja concluído em menos de 22 semanas.

Essa análise mostra como se responde à segunda pergunta feita na introdução. Em particular, ela mostra como encontrar a probabilidade de que o *caminho crítico* seja concluído dentro de *qualquer* tempo dado. Ela ilustra a importância de considerar a variabilidade nos tempos individuais da atividade ao considerar os tempos totais da conclusão do projeto. A análise para o problema da Becky indica que, utilizando o tempo esperado como nossa “previsão prática”, a duração esperada para o projeto será de 20 semanas e, se isso ocorrer, ele será concluído 2 semanas antes da data prevista. A análise da incerteza lança luz extra nessa estimativa. Ela mostra uma probabilidade significativa (isto é, $0,2 = 1 - 0,8$) de que o *caminho crítico* não será concluído até a data de conclusão prevista. A implicação é que há *pelo menos* uma probabilidade de 0,2 de que o projeto total não possa ser concluído até a data prevista. O termo “pelo menos” foi empregado por causa do seguinte fator complicador: devido à aleatoriedade, algum outro caminho, estimado como não-crítico, na realidade pode levar mais tempo do que o caminho crítico proposto.

Como exemplo de como essa incerteza pode funcionar no mundo dos negócios e na educação, a San Diego State University e a Georgia Tech contrataram algumas construtoras para construir torres de estacionamento. As construtoras deram dois orçamentos: um se os gráficos PERT fossem utilizados e um orçamento mais baixo se os gráficos PERT *não* fossem utilizados. No orçamento mais baixo, as construtoras não prometeriam quando as estruturas seriam concluídas, de modo que, se os trabalhadores fossem necessários em outro projeto (que tinha prazos finais de entrega), eles poderiam ser retirados dos projetos das universidades durante vários dias ou semanas e utilizados em outro lugar. Em troca dessa incerteza, as instituições educacionais conseguiram taxas mais baixas de construção ajudando as empresas contratadas a equilibrar a alocação do seu pessoal.

Testando as suposições com simulação de planilha

Para pequenos projetos, não é muito incômodo utilizar um programa de planilha para fazer uma análise do caminho crítico, como mostramos anteriormente nas Figuras 14.11 e 14.14.

Depois que os relacionamentos básicos foram inseridos, é muito fácil modificar os tempos de atividade e verificar que efeito isso tem sobre a duração mínima de um projeto e sobre as atividades no caminho crítico. Criando os tempos de atividade aleatórios com o Crystal Ball e recalculando a planilha (utilizando seu recurso “Single Step”), uma pessoa pode ter uma idéia sobre a variabilidade tanto da duração do projeto como do caminho crítico. A Figura 14.16 mostra um exemplo (planilha “Random” no mesmo arquivo GLOBAL.XLS). Observe que todos os tempos de atividade estão entre os seus tempos pessimistas (*a*) e otimistas (*b*), mas o caminho crítico é diferente, nesse caso B-C-F-G-J. Esse resultado demonstra que o caminho com a duração mais longa *esperada* (B-C-D-E) talvez não venha a ser o caminho crítico. Esse fato implica que a duração esperada do projeto pode ser maior do que o valor calculado pela análise PERT².

Para estimar a duração real esperada do projeto, devemos recalculer a planilha muitas vezes e tirar a média das durações mínimas do projeto obtidas em cada recálculo. O suplemento Crystal Ball facilita esse procedimento. Uma vez que o Crystal Ball inclui a distribuição beta em sua “Galeria de Distribuição” e que a análise PERT dos tempos de atividade foi baseada na distribuição beta, indicamos que os valores na coluna C devem ser extraídos das distribuições beta apropriadas. A Figura 14.17 mostra a distribuição da duração mínima do projeto calculada pelo Crystal Ball com base em um exemplo de 1.000 iterações. A duração média estimada do projeto é, de fato, um pouco menor do que foi calculado pela análise PERT (19,76 *versus* 20,0). O Crystal Ball também torna fácil de calcular a probabilidade de que a duração do projeto seja menor ou igual a qualquer valor alvo dado. A Figura 14.17 mostra que para um valor alvo de 22 semanas, a probabilidade é de 83,6 % um pouco mais alta que os 80% calculados pela análise PERT. Neste caso, pelo menos, parece que as suposições simplificadoras do PERT são justificadas.

² O resultado-chave necessário para mostrar isso é que o valor esperado do máximo das duas variáveis aleatórias é maior que ou igual ao máximo dos valores esperados: $E[\max(X, Y)] > \max(E[X], E[Y])$.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1										
2	Atividade	Descrição	Tempo	IMC	CMC	IMC	CMT	Folga	Crítico?	
3	A	Escolher Lugar	4	0	4	4	7	4	Não	
4	B	Criar Plano	3	0	3	0	3	0	Sim	
5	C	Exig. Pessoais	2	3	6	3	6	0	Sim	
6	D	Projetar Instal.	3	6	9	7	11	2	Não	
7	E	Construir	6	9	15	11	17	2	Não	
8	F	Selecionar Pessoal	3	6	9	6	9	0	Sim	
9	G	Contratar Func.	5	9	13	9	13	0	Sim	
10	H	Registros Mudança	2	9	11	14	17	6	Não	
11	I	Fazer Plan. Financ.	4	3	8	12	17	9	Não	
12	J	Treinar	4	13	17	13	17	0	Sim	
13	K	Treinamento Seguro	2	9	11	11	13	3	Não	
14										
15		Extensão Mínima do Projeto				17				
16										

Figura 14.16 Tempos de atividade simulados para a Global Oil.

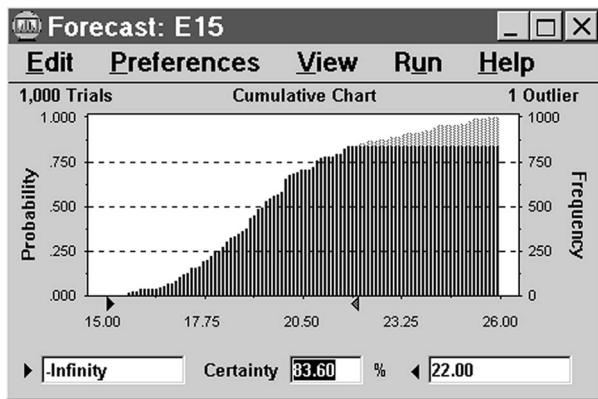


Figura 14.17 Distribuição da duração do projeto.

O Crystal Ball também facilita a geração de histogramas como aquele mostrado na Figura 14.18. Esse é um histograma da folga da atividade F. Enquanto a folga *esperada* está próxima do valor da análise PERT de 3 semanas, o histograma mostra que há uma variação considerável em torno desse valor médio. Observe particularmente que há um pico de probabilidade para folgas próximas a zero. Se a folga for zero, então F estará no caminho crítico. Se a folga estiver próxima de zero, a programação para F pode então variar muito pouco sem causar atraso para todo o projeto. Isso significa que a atividade F *pode* vir a ser uma atividade crítica. Essa é uma idéia que a análise PERT, com sua folga ampla de 3 semanas para a atividade F, talvez oculte.

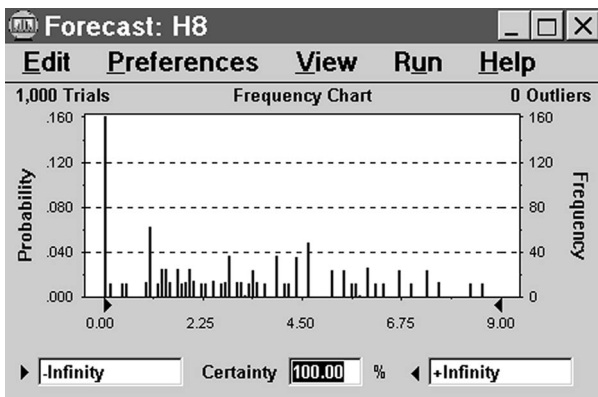


Figura 14.18 Distribuição da folga para a atividade F.

14.5 Um resumo da análise PERT

Ao utilizar a estratégia PERT, o analista precisa fornecer as seguintes entradas:

1. Uma lista das atividades que compõem o projeto.
2. Os predecessores imediatos para cada atividade.
3. O valor esperado para cada tempo de atividade [utilizando $t = (a + 4m + b)/6$].

4. O desvio-padrão para cada tempo de atividade [utilizando desvio-padrão $t = (b - a)/6$].

O procedimento da estimativa da PERT considera estimativas pessimistas, as mais prováveis, e estimativas otimistas do tempo de atividade para obter o valor esperado e o desvio-padrão para cada atividade. O desvio-padrão é exigido somente se o analista deseja fazer declarações de probabilidade sobre como concluir o projeto até determinada data.

A análise utiliza as entradas listadas anteriormente para

1. Calcular o caminho crítico.
2. Calcular o tempo mínimo esperado no qual o projeto pode ser concluído.
3. Mostrar os valores de folga para cada atividade, junto com o tempo esperado mais tarde em que qualquer atividade pode iniciar (ou terminar) sem retardar o projeto.
4. Calcular a probabilidade de que o caminho crítico atual seja concluído até uma data especificada, caso as estimativas do desvio-padrão sejam fornecidas.

Se o projeto não puder (ou for improvável de) ser concluído até uma data prevista, ele deve ser redefinido pela

1. Análise estratégica, na qual a rede do projeto é modificada pela introdução de novas atividades ou pela modificação dos relacionamentos entre as atividades existentes, ou
2. Análise tática, na qual os tempos de atividade são modificados pela aplicação de recursos adicionais.

Por fim, podemos observar que a PERT não é apenas um sistema de planejamento. Você agora pode ver que ele também pode ser utilizado para monitorar o andamento de um projeto. A gerência pode comparar os tempos de atividade reais à medida que eles ocorrem, com aqueles que foram utilizados no processo de planejamento. Se, por exemplo, a atividade B levasse 6 ou 7 semanas, em vez das 5 semanas utilizadas no diagrama de rede, Becky saberia que o projeto está atrasado. Isso daria a ela a oportunidade de organizar e atribuir mais recursos para alguma outra atividade no caminho crítico, como um esforço de encurtar essa atividade e cumprir a data prevista.

A identificação do caminho crítico e as informações pontuais fornecem à gerência uma ferramenta poderosa para lidar com o difícil problema de fazer um projeto complexo cumprir a programação.

14.6 CPM e compensações entre tempo e custo

Como acabamos de ver, a PERT fornece uma estratégia útil para a análise dos problemas de agendamento perante a *incerteza sobre os tempos de atividade*. Frequentemente, essa incerteza ocorrerá em projetos novos ou únicos em que há pouca experiência prévia de tempo e custo para servir como base. Em outros tipos de projetos, podem existir dados históricos considerá-

veis com os quais uma pessoa pode fazer boas estimativas quanto aos requisitos de tempo e de recursos. Nesses casos, pode ser interessante trabalhar mais explicitamente com os custos, no sentido de analisar as possibilidades para redirecionar os recursos, para reduzir o tempo de conclusão. A noção de que há uma compensação entre o tempo que leva para completar uma atividade e o custo dos recursos dedicados a essa atividade é a base de um modelo que originalmente fazia parte do método CPM.

Esse modelo presume que o custo é uma função linear do tempo. Considere, por exemplo, a Figura 14.19. Essa figura ilustra que a gerência tem a oportunidade de direcionar o tempo de uma atividade para qualquer lugar entre um valor mínimo e um valor máximo. A escolha do tempo de uma atividade implica em um custo da atividade, conforme especificado pelo diagrama.

Dada a disponibilidade dessa função de compensação entre o custo e o tempo para cada atividade no projeto, a gerência tem a oportunidade de selecionar cada tempo de atividade (dentro dos limites) e incorrer no custo associado. Obviamente, a escolha dos tempos de atividade individuais afeta o tempo de conclusão do projeto. A pergunta torna-se: “Quais tempos de atividade devem ser selecionados para produzir o tempo desejado para a conclusão do projeto com um custo mínimo”? A estratégia CPM para responder a essa pergunta será apresentada no contexto da criação de um pacote de análise financeira pelo grupo de análise de operações da Global.

Um projeto da análise financeira para marketing varejista

Além da mudança para Des Moines, Becky é responsável por um novo pacote de análise financeira que será utilizado na seção de marketing varejista da Global. O programa é utilizado para avaliar potenciais distribuidores (postos de gasolina) em termos da localização e outras características. O projeto dos sistemas está completo. O programa de computador ainda deve ser criado e o pacote deve ser apresentado à seção do marketing varejista.

A Figura 14.20 mostra a lista de atividades e o diagrama de rede para esse projeto. O tempo mostrado é chamado de **tempo normal**. Isso corresponde ao tempo máximo mostrado na Figura 14.19. Lembre-se de que estamos supondo aqui que os tempos de atividade podem ser estimados com boa exatidão e, conseqüentemente, o “tempo normal” é um valor conhecido. Na Fi-

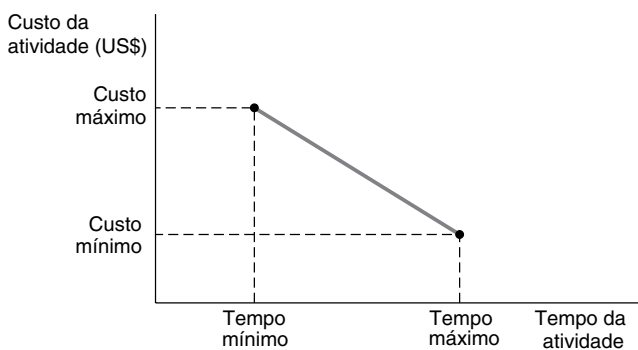


Figura 14.19 Função da compensação entre tempo e custo.

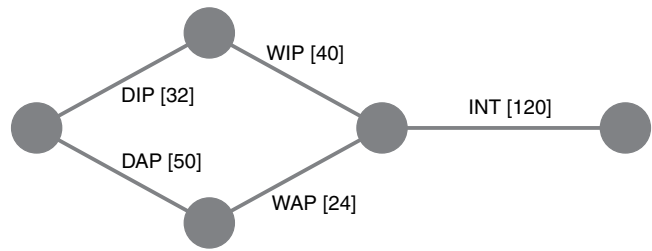


Figura 14.20 Lista das atividades e diagrama da rede para o projeto de análise financeira.

gura 14.20, está claro que o caminho mais longo pela rede é DAP-WAP-INT e, portanto, esse é o caminho crítico. O tempo de conclusão mais próximo para o projeto é de 194 horas.

Dados exigidos para cada atividade O sistema CPM está baseado em quatro dados de entrada para cada atividade:

1. **Tempo normal:** o tempo máximo para a atividade.
2. **Custo normal:** o custo exigido para alcançar o tempo normal.
3. **Tempo de antecipação:** o tempo mínimo para a atividade.
4. **Custo de antecipação:** o custo exigido para alcançar o tempo de antecipação.

Esses dados para o projeto da análise financeira são apresentados nas quatro primeiras colunas da Tabela 14.4. A quinta coluna mostra as horas máximas de antecipação, definidas por

$$\text{horas máximas de antecipação} = \text{tempo normal} - \text{tempo de antecipação}$$

A Figura 14.21 mostra como esses dados são utilizados para criar a função de compensação entre o tempo e o custo da atividade DIP, projetar o processador de informações.

Observe que, de acordo com a Tabela 14.4, utilizar todos os tempos normais leva a um custo total do projeto de US\$ 7.208. Observe também que a última coluna da Tabela 14.4 mostra o custo por hora (conforme calculado na Figura 14.21) para reduzir cada tempo de atividade para menos do que seu tempo normal. No jargão do CPM, o processo de reduzir o tempo de uma atividade é chamado de *crashing*. Por exemplo, a gerência poderia optar por fazer com que a atividade DIP fosse concluída em 31 horas, em vez das 32 horas normais, com um custo marginal de US\$ 13,33. O tempo normal de 32 horas custa US\$ 640, e um tempo de 31 horas custaria, portanto, $640 + 13,33 = \text{US\$ } 653,33$.

Antecipando o projeto

Observamos que, utilizando somente o tempo normal para cada atividade, o tempo de conclusão mais próximo para esse projeto é de 194 horas (ao longo do caminho crítico DAP-WAP-INT). A gerência agora pode determinar o método com custo mínimo para reduzir esse tempo aos níveis especificados. Para reduzir o

Tabela 14.4 Dados do tempo e custo para o projeto de análise financeira

Atividade	(1) Tempo normal	(2) Custo normal (US\$)	(3) Tempo de antecipação (US\$)	(4) Custo de antecipação (US\$)	(5) Máximo de horas de antecipação	(6) Custo por hora de antecipação (US\$)
DIP	32	640	20	800	12	13,33
WIP	40	480	30	720	10	24,00
DAP	50	1000	30	1200	20	10,00
WAP	24	288	15	360	9	8,00
INT	120	4800	70	5600	50	16,00
TOTAL		US\$ 7208				

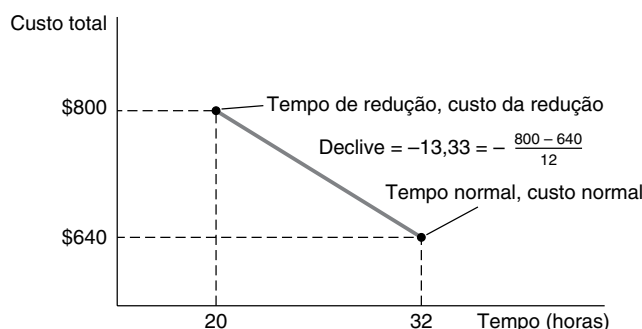


Figura 14.21 Função de compensação entre tempo e custo para DIP.

tempo do projeto para 193, Becky reduziria o tempo de uma atividade no caminho crítico em 1 hora. Uma vez que o custo por hora para reduzir o tempo da atividade WAP é menor do que qualquer uma das outras duas atividades no caminho crítico (US\$ 8 < US\$ 10 e US\$ 8 < US\$ 16), Becky reduziria primeiro o tempo da atividade WAP em 1 hora. Essa decisão resulta em um tempo de projeto de 193 horas, no caminho crítico DAP-WAP-INT e em um custo total do projeto de US\$ 7.216 (= US\$ 7.208 + US\$ 8). Se Becky quisesse alcançar um tempo de 192 horas, exatamente a mesma análise seria aplicada e ela reduziria o tempo da atividade WAP em mais uma hora e incorreria em um custo marginal de US\$ 8.

Se a gerente tivesse reduzido o tempo da atividade WAP em duas horas para alcançar um tempo de projeto de 192 horas e se duas ainda quisesse reduzir o tempo do projeto em mais uma hora (para alcançar 191), a análise tornar-se-ia mais complexa. A Figura 14.22 mostra essa situação. O valor em dólares no diagrama é o custo marginal do processo de redução de tempo. Observe que agora há dois caminhos críticos, DIP-WIP-INT e DAP-WAP-INT, e que ambos exigem 192 horas. Reduzir o tempo de uma das quatro atividades (DIP, WIP, DAP ou WAP) em 1 hora diminuiria o tempo de um dos caminhos para 191 horas, mas ainda deixaria o tempo do projeto em 192, pois ainda haveria um caminho crítico de 192 horas. Um tempo de 191 horas só poderia ser obtido reduzindo-se o tempo das atividades nos dois caminhos. Se Becky reduzisse o tempo das atividades DIP e WAP em 1 hora cada, reduziria os dois caminhos para 191 horas e custaria a ela US\$ 13,33 + US\$ 8,00 = US\$ 21,33. Alternativamente, a atividade INT poderia ser re-

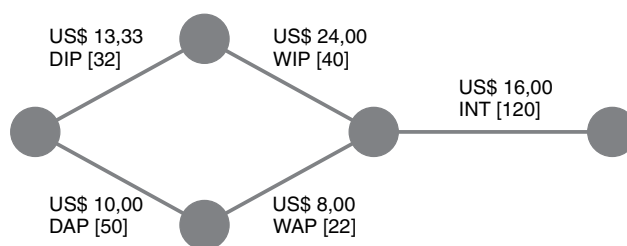


Figura 14.22 Custos marginais do processo de redução do tempo do projeto de análise financeira.

duzida em 1 hora, com um custo de US\$ 16,00. Você consegue ver que existem outras alternativas a considerar? Embora seja possível fazer esse tipo de análise do custo marginal em qualquer rede CPM, está claro que seria difícil e maçante realizar essa análise em uma rede complexa. Essa consideração nos leva a uma formulação PL do problema.

Um modelo de programação linear

O problema da obtenção de um tempo de projeto específico com um custo mínimo pode ser formulado como um problema de programação linear. A Figura 14.23 mostra a formulação em planilha e a solução do problema da análise financeira (GLOB-FIN.XLS) com um limite de 184 horas sobre o tempo do projeto. Para entender essa formulação, considere

- CWIP = horas antecipadas na atividade WIP
- ESWIP = tempo inicial mais cedo para a atividade WIP
- EFINT = tempo mais cedo de término para a atividade INT

As outras variáveis de decisão seguem esse mesmo padrão. A partir dessas definições, temos:

1. A função objetivo é reduzir o custo total do processo de antecipação do tempo da rede. Esse é o objetivo apropriado. O custo da conclusão do projeto no tempo normal já está determinado. Você pode pensar sobre o problema da gerência como uma decisão de quanto (e onde) vai antecipar o tempo para obter o tempo de conclusão mais próximo desejado, com um custo adicional mínimo.
2. As restrições nas células B9:D12 estabelecem os limites do tempo de início mais próximo para as atividades WIP,

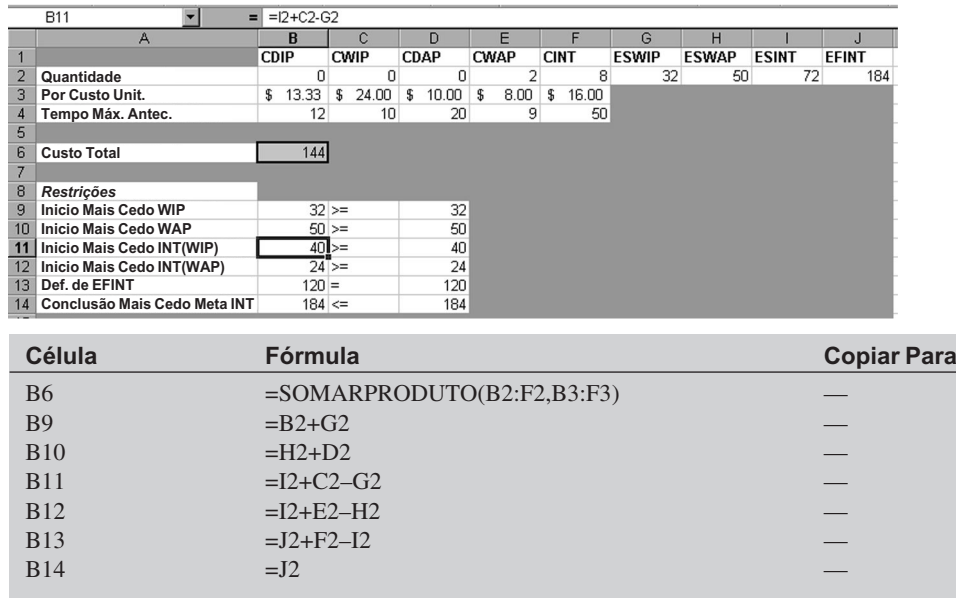


Figura 14.23 Solução PL do problema da análise financeira.

WAP e INT. Por exemplo, reescrever a primeira restrição (ESWIP), cuja fórmula está em B9:D9, produz

$$ESWIP > 32 - CDIP$$

Observamos que, como 32 é o tempo normal para DIP e CDIP é o valor que essa atividade utiliza para reduzir o tempo da DIP, o lado direito é o tempo que a atividade DIP efetivamente levará depois da sua redução. Portanto, essa restrição afirma que o tempo de início mais cedo para WIP deve ser \geq que o tempo de atividade modificado para DIP. Desde que DIP é a única predecessora de WIP, sabemos que o tempo de início mais cedo para WIP é igual ao tempo da atividade modificado de DIP. Portanto, teremos

$$ESWIP = 32 - CDIP$$

Uma restrição \geq é utilizada em vez de uma restrição =, porque, em geral, existem vários caminhos que levam a um nó e o tempo de início mais cedo de uma atividade que sai desse nó é determinado pela entrada no caminho que demora mais tempo. Isso é ilustrado pelas duas restrições para ESINT. Reescrever essas restrições produz

células B11:D11 $ESINT > 40 - CWIP + ESWIP$
 células B12:D12 $ESINT > 24 - CWAP + ESWAP$

A primeira restrição afirma que INT não pode iniciar até que WIP esteja concluída e a segunda restrição faz uma declaração semelhante para WAP. Frequentemente, acontecerá que somente uma dessas restrições estará ativa em uma solução otimizada.

- As células B13:D13 contêm a definição do tempo de conclusão mais cedo para a atividade INT:

$$EFINT = ESINT + 120 - CINT$$

tempo da atividade para INT após a antecipação

- A última restrição (células B14:D14) estabelece um limite superior sobre o tempo do projeto que queremos alcançar. Essa restrição depende do fato de que o tempo de conclusão da atividade INT determina o tempo de conclusão do projeto total. Em geral, uma restrição semelhante seria exigida para cada atividade que leva ao nó final. Neste caso, temos somente uma atividade INT.
- Por fim, precisamos adicionar algumas restrições diretamente na caixa de diálogo do Solver que limitem o valor do processo de antecipação de cada atividade. O limite é dado originalmente pela coluna 5 na Tabela 14.4, “Número máximo de horas de antecipação”. Para o Solver, simplesmente indicamos que $B2:F2 < = B4:F4$.

A solução na Figura 14.23 mostra que o tempo de WAP deve ser reduzido em 2 horas e de INT em 8 horas, para alcançar uma redução com um custo mínimo de 10 horas no tempo de conclusão do projeto (isto é, o valor otimizado de EFINT é 184 e esse é o tempo de conclusão do projeto). Mas, como sempre ocorre com a saída PL, essa é apenas uma pequena parte das informações disponíveis. Por exemplo, a Figura 14.24 mostra que custará US\$ 16 para antecipar o tempo da rede por mais 1 hora (preço-sombra no “objetivo INT da conclusão inicial”). Os intervalos à direita mostram que essa taxa de US\$ 16 por hora é verdadeira para uma diminuição de outras 42 horas. Nesse problema simples, você pode ver que essas próximas 42 horas do processo de antecipação de tempo (além das primeiras 10) devem ser feitas na atividade INT. Em geral, esse tipo de informações sensíveis de PL podem fornecer uma direção útil à gerência na tentativa de controlar o andamento de grandes projetos.

Células Ajustáveis

Célula	Nome	Valor Final	Custo Reduzido	Coefficiente Objetivo	Aumento Permitido	Diminuição Permitida
\$B\$2	Quantidade CDIP	0	5.33	13.33	1E+30	5.33
\$C\$2	Quantidade CWIP	0	16	24	1E+30	16
\$D\$2	Quantidade CDAP	0	2	10	1E+30	2
\$E\$2	Quantidade CWAP	2	0	8	2	5.33
\$F\$2	Quantidade CINT	8	0	16	5.33	8
\$G\$2	Quantidade ESWIP	32	0	0	5.33	8
\$H\$2	Quantidade ESWAP	50	0	0	2	8
\$I\$2	Quantidade ESINT	72	0	0	5.33	8
\$J\$2	Quantidade EFINT	184	0	0	16	1E+30

Restrições

Célula	Nome	Valor Final	Preço Sombra	Restrições Lado R.H.	Aumento Permitido	Diminuição Permitida
\$B\$9	Início Mais Ceddo CDIP	32	8	32	2	7
\$B\$10	Início Mais Ceddo CDIP	50	8	50	7	2
\$B\$11	Início Mais Ceddo (WIP) CDIP	40	8	40	2	7
\$B\$12	Início Mais Ceddo (WIP) CDIP	24	8	24	7	2
\$B\$13	Conclusão Mais Ceddo EFINT CDIP	120	16	120	42	8
\$B\$14	Conclusão Meta INT CDIP	184	-16	184	8	42

Figura 14.24 Relatório de Sensibilidade para o problema da análise financeira.

A teoria na prática

Gerenciamento de projeto na Guerra do Golfo

No dia 27 de fevereiro de 1991, o presidente Bush declarou: “Dissemos que a agressão não seria tolerada e a agressão não foi tolerada!” O conflito armado no Kuwait terminou como uma das vitórias militares mais avassaladoras da história. Como o gerenciamento de projeto foi um instrumento na execução bem-sucedida da operação militar e particularmente daquelas 100 horas fatídicas da guerra em terra?

O general Schwarzkopf fez com que a comunidade logística mantivesse 60 dias de suprimentos de materiais à disposição. Esses suprimentos incluíam medicamentos, óleo diesel, gasolina, etc. Examinando apenas os suprimentos médicos, a melhor estimativa inicial era de 26.352 toneladas. Em seguida, esses números foram modificados com base nas características das operações no Kuwait. Por exemplo, a quantidade de soro fisiológico para reidratação do pessoal era maior do que aquela exigida na Europa (devido ao clima árido). Além disso, não havia unidades de refrigeração suficientes à disposição para armazenar adequadamente todo o sangue. Havia sido planejado que as forças terrestres norte-americanas utilizariam 1.600.000 galões de óleo diesel e 180.000 galões de gasolina por dia, mas, quando as forças prosseguiram com a ofensiva, esses números dobraram. As unidades de combate normalmente carregam suprimentos para apenas um ou dois dias e, assim,

contavam maciçamente com uma fonte fixa de novos suprimentos. A unidade de combate é projetada especificamente para mobilidade e sobrevivência no campo de batalha, não para armazenar suprimentos estranhos à ação.

Um dos resultados mais bem-sucedidos foi a técnica de reabastecimento que reduziu pela metade o tempo de reabastecimento de uma brigada fortemente armada (de seis para três horas) e permitiu que tanto a unidade de abastecimento como a unidade de combate de apoio se movimentassem durante as atividades de reabastecimento. Minimizar o tempo de reabastecimento tem três vantagens importantes. Primeiro, aumenta a segurança. No momento em que os veículos param para o reabastecimento, eles estão mais sujeitos à detecção pelo inimigo. Segundo, os veículos de abastecimento podem fazer mais viagens de ida e volta no mesmo período de tempo. Terceiro, o comandante tático tem maior flexibilidade de planejamento, pois menos tempo é utilizado pelas atividades de reabastecimento.

Um ditado famoso entre os militares norte-americanos é “a tática ganha batalhas, mas a logística ganha guerras”. Na soma, a implementação bem-sucedida de inúmeros detalhes de um projeto tão complexo como a Tempestade no Deserto é uma parte importante daquilo que conduziu a vitória. (Ver Staats.)

No final desta seção, reexaminaremos a sexta pergunta feita na Seção 14.1: “Como os recursos poderiam ser concentrados mais efetivamente nas atividades a fim de acelerar a conclusão do projeto?” Nesta seção, vimos que, em um contexto

onde o tempo e os custos são adequadamente definidos, como no modelo CPM, a *antecipação do projeto* permite que a gerência responda essa pergunta.

Agora, prosseguiremos e discutiremos a última pergunta feita na Seção 14.1: “Quais controles podem ser definidos sobre os fluxos de gastos das várias atividades por toda a duração do projeto, para que o orçamento global possa ser obedecido?”

14.7 Gerenciamento do custo do projeto: PERT/Custo

Em geral, um projeto ideal depende dos seus custos e das receitas totais. (Pode ser necessário descontar para considerar o valor do dinheiro no tempo para expressar os custos e/ou retornos cotados em dólares, se o projeto for de longa duração.) Depois que um projeto foi selecionado, o gerenciamento efetivo dos custos inclui duas funções importantes: planejamento e controle.

Custos do planejamento para o projeto do cartão de crédito: o sistema de custo PERT

Grandes projetos podem ter uma grande influência sobre a situação financeira de uma empresa. A necessidade de pagar várias atividades cria uma demanda tanto no orçamento total da empresa como no fluxo de caixa diário. Obviamente, os tempos em que as atividades são programadas determinam quando ocorrem as demandas de orçamento. Esse é um bom exemplo de como os modelos da administração podem ser utilizados conjuntamente. Primeiro, o modelo da rede PERT é definido para a mudança da Global Oil, assim talvez um modelo PL seja utilizado para reduzir o tempo a um período aceitável e, por fim, pode ser criado um modelo financeiro de planilha para ajudar no planejamento financeiro. Portanto, a saída de cada modelo torna-se a entrada do modelo seguinte e, assim, é fundamental verificar constantemente a exatidão dos resultados do modelo.

É importante para qualquer empresa antecipar as demandas do orçamento para poder tratá-las econômica e efetivamente. O sistema **PERT/Custo** é especificamente projetado para ajudar a gerência a antecipar essas demandas de maneira transparente e consistente. Esse sistema é basicamente uma estratégia alternativa à computação de custos. Em geral, os sistemas

de computação de custos são organizados com base em um centro de custos (por exemplo, por departamentos). O sistema PERT/Custo é organizado com base em um projeto, onde os elementos básicos de controle são as atividades.

Para aplicar o sistema PERT/Custo no projeto da mudança da operação de cartão de crédito para Des Moines, Becky deve agora completar a Tabela 14.2, preenchendo a última coluna, intitulada “Recursos”. Essa coluna é o custo total estimado ou “esperado” para completar cada atividade. Esses custos esperados da atividade, junto com o tempo esperado da atividade, o tempo de início mais cedo e o tempo de início mais tarde, são apresentados na Tabela 14.5 para o projeto do cartão de crédito redefinido. Os dados do tempo de início mais cedo e do tempo de início mais tarde são extraídos da solução da planilha, Figura 14.14.

O objetivo do sistema PERT/Custo é criar um gráfico das demandas sobre o orçamento ao longo do tempo. Isso requer conhecimento sobre como os fundos serão gastos por toda a duração de uma atividade. Por exemplo, as demandas sobre o orçamento são diferentes se os US\$ 32.000 da atividade E, construir o interior, forem gastos no começo do tempo da atividade de 8 semanas ou no final dele. O sistema PERT/Custo presume que os gastos ocorrem uniformemente por toda a duração da atividade; isto é, para E, uma demanda de orçamento de US\$ 4.000 ocorre durante cada uma das 8 semanas. A Tabela 14.6 mostra as demandas de orçamento por tempo, se todas as atividades iniciarem no seu *tempo de início mais cedo*. Essa tabela é construída designando uma linha a cada atividade e registrando as demandas de orçamento para essa atividade na coluna apropriada (semana), conforme determinado pelo tempo de início mais cedo. Ao formar essa tabela, os tempos de “início mais cedo” são interpretados como uma referência ao final da semana. Assim, a atividade B inicia no tempo 0 (o final da semana 0 = começo da semana 1) e exige 5 semanas para terminar. Isso significa que a atividade C, como mostrado na Tabela 14.6, não pode iniciar até o final da semana 5. Ela dura 3 semanas e cria uma demanda de orçamento de US\$ 600 por semana. Essa informação está resumida na terceira linha da Tabela 14.6.

Tabela 14.5 Requisitos de recursos para o projeto redefinido

Atividade	Tempo esperado	Início mais cedo	Início mais tarde	Recursos totais exigidos (US\$)
A	3	0	5	2.100
B	5	0	0	5.000
C	3	5	5	1.800
D	4	8	8	4.800
E	8	12	12	32.000
F	2	8	11	1.000
G	4	10	13	2.800
H	2	10	18	7.000
I	5	5	15	4.000
J	3	14	17	30.000
K	3	10	14	1.500
Total				US\$ 92.000

Tabela 14.6 Demandas no orçamento: tempo de início mais cedo (custo por semana)

Atividade	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
A	700	700	700																	
B	1000	1000	1000	1000	1000															
C						600	600	600												
D									1200	1200	1200	1200								
E													4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000
F									500	500										
G											700	700	700	700						
H											3500	3500								
I						800	800	800	800	800										
J															10.000	10.000	10.000			
K											500	500	500							
Custo semanal	1700	1700	1700	1000	1000	1400	1400	1400	2500	2500	5900	5900	5200	4700	14.000	14.000	14.000	4000	4000	4000
Custo cumulativo do projeto	1700	3400	5100	6100	7100	8500	9900	11.300	13.800	16.300	22.200	28.100	33.500	38.000	52.000	66.000	80.000	84.000	88.000	92.000

O custo total semanal é determinado adicionando-se uma coluna abaixo, isto é, adicionando-se as demandas de orçamento de todas as atividades durante a semana. Por exemplo, a demanda de orçamento durante a décima terceira semana é de US\$ 5.200, a soma de US\$ 4.000 de E, US\$ 700 de G e US\$ 500 de K.

O custo cumulativo do projeto é encontrado agrupando-se os custos semanais desde o início do projeto. Por exemplo, observe que o custo semanal é de US\$ 1.700 para cada uma das 3 primeiras semanas. O custo total do projeto depois das 3 semanas é, portanto, de US\$ 5.100. O custo total no final do projeto (semana 20) deve, naturalmente, ser o custo total de todo o projeto.

A Tabela 14.7 cria um perfil das demandas de orçamento ao longo do tempo, se cada atividade iniciasse no seu *tempo inicial mais tarde*.

As informações das Tabelas 14.6 e 14.7 estão combinadas na Figura 14.25. A linha superior é um diagrama dos custos do tempo de início mais cedo da Tabela 14.6 e a linha inferior é um diagrama dos custos do tempo de início mais tarde da Tabela 14.7. A região sombreada entre as linhas mostra a área dos orçamentos cumulativos praticáveis para os custos totais do projeto, se este for concluído conforme previsto. O fato de que as demandas de orçamento reais devem estar dentro do invólucro criado pelo tempo de início mais cedo e pelo tempo de início

mais tarde torna fácil para a gerência antecipar seus gastos cumulativos. Por exemplo, Becky pode ver que, até o final da semana 12, a Global Oil terá de gastar entre US\$ 14.200 e US\$ 28.100.

Analisamos passo a passo os cálculos de orçamento para o sistema de planejamento PERT/Custo, pois esse exercício é útil do ponto de vista pedagógico. Na prática, esses cálculos normalmente são feitos por um computador. A Figura 14.26 mostra uma saída de computador correspondente às Tabelas 14.6 e 14.7.

Controle dos custos do projeto

O conceito por trás de qualquer sistema de controle é comparar o *desempenho real* com o *desempenho planejado* e aplicar uma ação corretiva, se necessário. O termostato na sua casa é um sistema de controle que opera continuamente no tempo, comparando a temperatura real com a temperatura desejada e ligando e desligando o aquecedor (no aparelho de ar-condicionado) conforme for necessário.

O sistema PERT/Custo compara os custos reais ou custos planejados do projeto em intervalos regulares, para que a gerência tenha uma indicação prévia, caso o projeto não esteja avançando de acordo com o plano. A gerência pode então executar uma ação apropriada.

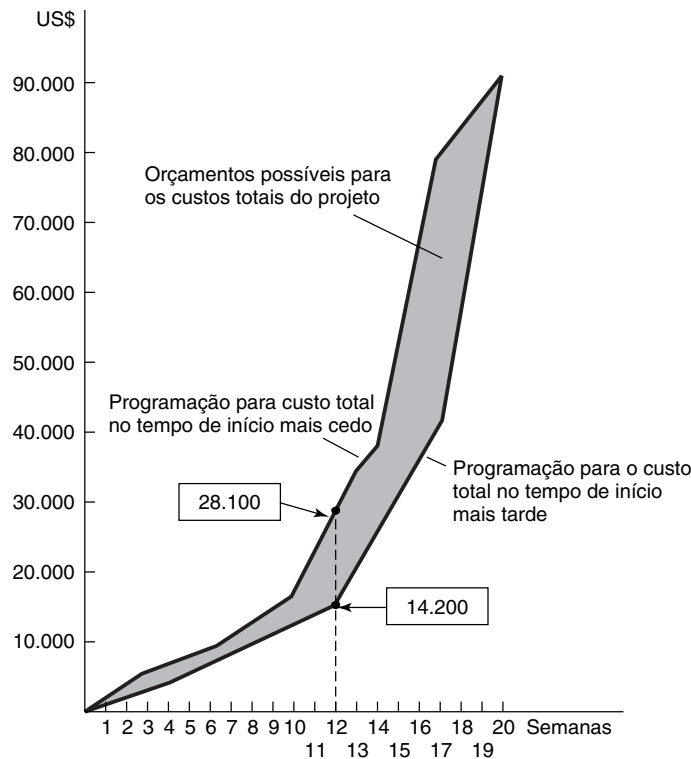


Figura 14.25 Demanda cumulativa sobre o orçamento versus tempo.

Tabela 14.7 Demandas no orçamento: tempo de início mais tarde (custo por semana)

Atividade	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
A						700	700	700													
B	1000	1000	1000	1000	1000																
C						600	600	600													
D									1200	1200	1200	1200									
E													4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000
F												500	500								
G														700	700	700	700				
H																				3500	3500
I																800	800	800	800	800	800
J																		10.000	10.000	10.000	10.000
K																500	500	500			
Custo semanal	1000	1000	1000	1000	1000	1300	1300	1300	1200	1200	1200	1700	4500	4700	5200	6.000	6.000	14.800	18.300	18.300	18.300
Custo cumulativo do projeto	1000	2000	3000	4000	5000	6300	7600	8900	10.100	11.300	12.500	14.200	18.700	23.400	28.600	34.600	40.600	55.400	73.700	92.000	92.000

PERFIL DE USO DE RECURSOS DE ACORDO COM O TEMPO DE INICIO MAIS CEDO			
Intervalo de Tempo		Uso de Recurso	
Do fim de semana	Para fim de semana	Semanal	Cumulativo
0.00→	3.00	1700,00	5100,00
3.00→	5.00	1000,00	7100,00
5.00→	8.00	1400,00	11300,00
8.00→	10.00	2500,00	16300,00
10.00→	12.00	5900,00	28100,00
12.00→	13.00	5200,00	33300,00
13.00→	14.00	4700,00	38000,00
14.00→	17.00	14000,00	80000,00
17.00→	20.00	4000,00	92000,00

PERFIL DE USO DE RECURSOS DE ACORDO COM O TEMPO DE INICIO MAIS TARDE			
Intervalo de Tempo		Uso de Recurso	
Do fim de semana	Para fim de semana	Semanal	Cumulativo
0.00→	5.00	1000,00	5000,00
5.00→	8.00	1300,00	8900,00
8.00→	11.00	1200,00	12500,00
11.00→	12.00	1700,00	14200,00
12.00→	13.00	4500,00	18700,00
13.00→	14.00	4700,00	23400,00
14.00→	15.00	5200,00	28600,00
15.00→	17.00	6000,00	40600,00
17.00→	18.00	14800,00	55400,00
18.00→	20.00	18300,00	92000,00

Figura 14.26 Análise computacional das demandas do orçamento.

Relatório de controle do sistema PERT/Custo A Tabela 14.8 é um relatório de controle do sistema PERT/Custo, preparado 11 semanas após o início do projeto redefinido da mudança da operação de cartão de crédito para Des Moines. Os rótulos nas colunas indicam como o relatório é preparado. A coluna (4), o custo real, e a coluna (3), o custo planejado, fornecem as informações básicas utilizadas na função de controle. O custo real, coluna (4), é auto-explicativo. *O custo planejado, coluna (3), é calculado com a suposição de que a percentagem do orçamento destinada a uma atividade é igual à percentagem concluída dessa atividade.* Portanto, quando 50% de uma atividade é concluído, o custo planejado é de 50% de todo o orçamento (coluna [2]) para essa atividade. Observe que, se uma atividade está concluída, a entrada na coluna (1) é 100 e isso significa que a entrada na coluna (3) será igual à entrada na coluna (2).

Considere, por exemplo, a atividade A, “selecionar o local do escritório”. Verificamos na coluna (1) da Tabela 14.8 que essa atividade, no final da semana 11, está 100% concluída. Portanto, seu custo planejado, coluna (3), é igual a todo o seu orçamento (coluna [2]) de US\$ 2.100. Uma vez que seu custo real é de US\$ 2.300, há um custo excedente de US\$ 200. Esse número é registrado na última coluna. Uma interpretação semelhante é aplicada à atividade 1, “planejamento financeiro”. Essa atividade está 20% concluída e tem um orçamento de US\$ 4.000; portanto, seu custo planejado é de US\$ 800 ($US\$ 800 = 0,20 >$

US\$ 4000). Visto que apenas US\$ 500 foram gastos, há um saldo positivo de US\$ 300 no orçamento. Os parênteses na última coluna indicam um saldo positivo no orçamento.

Nessa situação, como as atividades A e F já estão concluídas, seu custo excedente não pode ser corrigido. Entretanto, as atividades D, G, e H, nenhuma das quais está ainda concluída, mostram excedentes significativos até a presente data e essas atividades devem ser revistas imediatamente. Esse tipo de intervenção administrativa periódica é exigido freqüentemente para manter o custo total do projeto dentro do orçamento.

Problemas potenciais de implementação Embora o sistema PERT/Custo possa fornecer um procedimento de controle efetivo, é bom estar ciente dos problemas em potencial da implementação. Por exemplo, o registro exigido de dados pode envolver esforços administrativos significativos, especialmente quando vários projetos com muitas atividades estão em andamento. Além disso, alguns custos, como as despesas gerais, podem ser comuns a várias atividades. A alocação desses custos comuns pode ser problemática. Por fim, conforme mencionamos no começo da Seção 14.7, o sistema PERT/Custo é diferente, quanto à organização, de um sistema de computação de custos típico. A orientação típica do centro de custos departamental precisa ser substancialmente revista para tratar do sistema PERT/Custo orientado a atividades. Essa redefinição pode ter um custo político e material.

Tabela 14.8 Custos do projeto após 11 semanas

Atividade	(1) Porcentagem concluída	(2) Orçamento (\$)	(3) [(1)/100 * (2)] Custo planejado até a presente data (US\$)	(4) Custo real até a presente data (US\$)	(5) (4) – (3) Custo excedente até a presente data (US\$)
A	100	2.100	2.100	2.300	200
B	100	5.000	5.000	4.900	(100)
C	100	1.800	1.800	1.800	0
D	75	4.800	3.600	4.600	1.000
E	0	32.000	0	0	0
F	100	1.000	1.000	1.200	200
G	25	2.800	700	1.400	700
H	50	7.000	3.500	5.400	1.900
I	20	4.000	800	500	(300)
J	0	30.000	0	0	0
K	0	1.500	0	0	0
Total		92.000	18.500	22.100	3.600

14.8 Gerenciamento de projeto com o *software* Microsoft Project

Um *software* especializado, como o Microsoft Project 98, torna a tarefa de gerenciamento de projeto mais fácil do que fazer isso manualmente ou em uma planilha. Em particular, esse *software* simplifica bastante os processos de geração de *links* entre tarefas e fornece uma visualização gráfica das atividades críticas e de todo o projeto. Infelizmente, esse *software* não pode fazer a otimização, como mostrado na Seção 14.6, e exige um suplemento adicional (por exemplo, @Risk for Project) para fazer qualquer tipo de simulação de resultados sobre os tempos aleatórios de conclusão, como mostrado na Seção 14.4. Nesta seção, apresentamos o mesmo exemplo utilizado na Seção 14.2, para mostrar como se utiliza o Microsoft Project 98. Talvez você queira conferir o CD de aluno que acompanha este livro ou o *site* www.microsoft.com/project para obter um *software* de avaliação gratuito e alguns exercícios dirigidos de exemplo. Apesar das desvantagens irrelevantes mencionadas anteriormente, a maioria dos projetos é gerenciada com a ajuda de um *software* como o MS Project, em vez de planilhas, que têm mais desvantagens.

Um exemplo de gerenciamento de projeto: operação do cartão de crédito da Global Oil

Conforme descrito no início da Seção 14.2 (e revisado brevemente aqui), a mudança iminente das operações de cartão de crédito do escritório local, em Dallas, para Des Moines, Iowa, é um projeto importante para Rebecca Goldstein e para a Global Oil. A diretoria da Global especificou um prazo final de entrega rígido de 22 semanas para a mudança ser realizada.

O primeiro passo no processo é definir as atividades no projeto e estabelecer os relacionamentos de precedência adequados. A Tabela 14.1 mostra a primeira lista de atividades que Becky prepara para a mudança. Para inserir essas atividades no

MS Project, você deve primeiro certificar-se de ter escolhido a “visualização” Gantt Chart (View Gantt no menu principal) e, em seguida, simplesmente inserir as dez atividades e sua duração esperada, como mostrado na Figura 14.27. Observação: consistentemente, o MS Project refere-se a essas atividades como “tarefas”; portanto, utilizaremos essas duas palavras indistintamente. Também estabelecemos arbitrariamente a data de início para as tarefas 1 e 2 como 9/4/00. O próximo passo é criar os “*links*” (conforme o MS Project os denomina) entre as tarefas ou estabelecer o relacionamento de precedência entre as tarefas, conforme discutido na Seção 14.2. Por exemplo, a atividade G, contratar novos funcionários, não pode iniciar até que a atividade F, selecionar o pessoal que vai mudar do Texas para Iowa, esteja concluída. Dissemos anteriormente que F é uma predecessora imediata da atividade G. O MS Project chama isso de *link* “Finish-Start”, querendo dizer que a atividade F deve terminar *antes* que a atividade G possa iniciar. Para inserir isso no MS Project, primeiro clicamos na atividade F (selecionar o pessoal que mudará), então, mantendo a tecla “Ctrl” pressionada, clicamos na atividade G (contratar novos funcionários) e, em seguida, clicamos no ícone “Link” do menu principal, como mostrado na Figura 14.28. Observação: o MS Project numera as atividades de 1 a 10, em vez de usar as designações de letras que utilizamos (A–J). A ordem em que você escolhe as atividades é muito importante! Se tivéssemos selecionado a atividade G em primeiro lugar e então a atividade F, o MS Project assumiria o relacionamento oposto (isto é, que a atividade G deve ser concluída antes que a atividade F possa iniciar). A fim de fazer essa vinculação com múltiplos predecessores, você deve inserir cada relacionamento separadamente. Por exemplo, tanto as atividades A como C devem ocorrer antes que a atividade D possa começar. Para inserir isso no MS Project, primeiro clicamos na atividade A (selecionar o local do escritório), depois, mantendo a tecla “Ctrl” pressionada, clicamos na atividade D (projeto da instalação) e, em seguida, clica-

	Task Name	Duration
0	Transferir operação de cartão de crédito de Dallas para Des Moines	115 dias
1	Selecionar o local do escritório	3 sem
2	Criar um plano organizacional e financeiro	5 sem
3	Determinar os requisitos de pessoal	3 sem
4	Projetar a instalação	4 sem
5	Construir o interior	8 sem
6	Selecionar o pessoal que mudará	2 sem
7	Contratar novos funcionários	4 sem
8	Registro da mudança, pessoal-chave, etc.	2 sem
9	Criar planejamentos financeiros com instituições em Des Moines	5 sem
10	Treinar o novo pessoal	3 sem

Figura 14.27 Lista de tarefas e durações no MS Project.

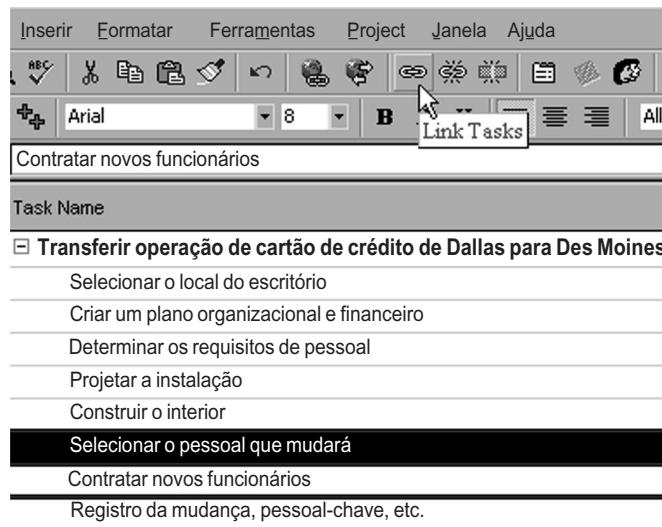


Figura 14.28 Vinculando tarefas.

mos no ícone “Link” do menu principal. Depois, clicamos na atividade C (determinar os requisitos de pessoal), depois, mantendo a tecla “Ctrl” pressionada, clicamos na atividade D (projeto da instalação) e, em seguida, clicamos no ícone “Link”. Essa seqüência informa ao MS Project que as atividades A e C devem ser concluídas antes que a atividade D possa iniciar. Quando tivermos terminado de inserir todos os predecessores da Tabela 14.1, o resultado final será como o mostrado na Figura 14.29 (exibido somente para as atividades C–I ou o que o MS Project chama de tarefas 3–9). Depois que essas informações são inseridas, o MS Project faz automaticamente as passagens da esquerda para a direita e da direita para a esquerda, discutidas na Seção 14.3, e pode exibir muitas informações úteis. Por exemplo, para ver um diagrama de rede, simplesmente clicamos em View, PERT Chart e o MS Project exibirá o diagrama mostrado na Figura 14.30. Observe que o caminho crítico (B-C-D-E-J ou 2-3-4-5-10) é exibido na tela na cor vermelha (cor preta para as tarefas não-críticas). Por fim, para exibir a folga para cada uma das atividades, clique em View, More Views....., Detail Gantt, Apply, e veremos no gráfico de Gantt

que as atividades críticas são mostradas na cor vermelha, as atividades não-críticas são mostradas na cor azul e, então, com linhas finas azuis (em oposição às linhas mais grossas para os tempos de atividade), o tempo de folga é indicado visualmente com o valor real escrito no final da seta, como mostrado na Figura 14.31, para as atividades G (6 semanas) e H (8 semanas) (ou para as tarefas 7 e 8, como o MS Project as denomina). Observe como é mais fácil fazer o gerenciamento de projeto com um *software* especializado como o MS Project! Com apenas alguns pequenos passos, abordamos o mesmo material das seções 14.2 e 14.3. O arquivo MS Project completo é salvo no disco do aluno como GLOBAL.MPP.

Para tratar o tema abordado no tópico da Seção 14.4 (variabilidade nos tempos de atividade), como mencionado anteriormente, o MS Project exige um suplemento adicional (por exemplo, @Risk for Project) para fazer qualquer tipo de simulação dos resultados nos tempos de conclusão aleatórios. O melhor que podemos fazer sem o @Risk é inserir tempos otimistas, tempos mais prováveis e tempos pessimistas para cada atividade. Em seguida, o MS Project exibirá um gráfico de Gantt oti-

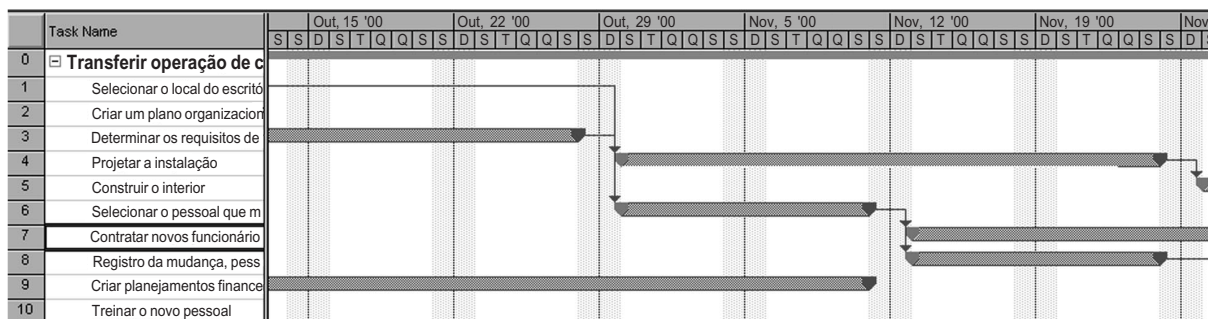


Figura 14.29 Gráfico de Gantt para a Global Oil.

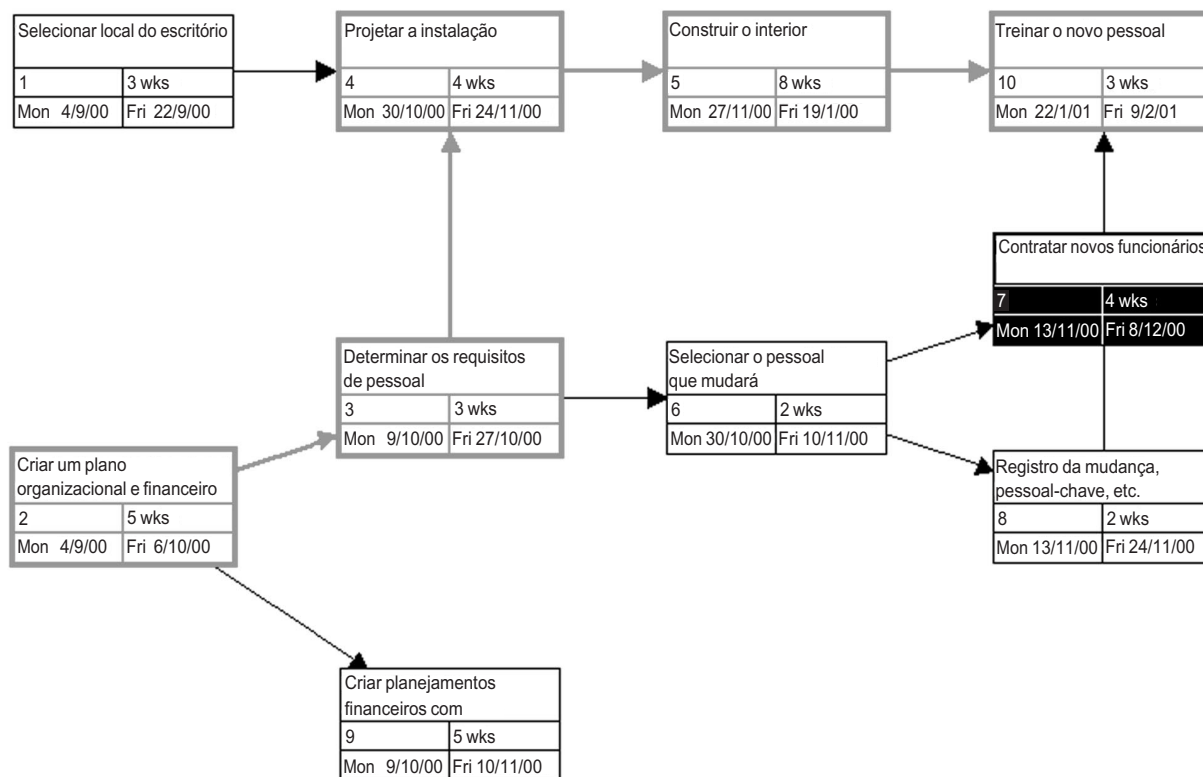


Figura 14.30 Gráfico de PERT para a Global Oil.

mista, um gráfico de Gantt mais provável e um gráfico de Gantt pessimista. Demonstraremos isso com a décima primeira atividade do projeto da Global Oil revisada (a revisão descrita no final da Seção 14.3, a fim de diminuir a duração total do projeto para 20 semanas).

Para inserir o intervalo de tempos (otimista, mais provável, pessimista) para cada atividade no MS Project, selecionamos View, Toolbars>, PERT Analysis, o que adiciona uma nova barra de ferramentas no menu. Na nova barra de ferramentas, selecionamos o ícone “PERT Entry Sheet” (o último dos sete novos apresentados) e inserimos as informações conforme exibidas no gráfico mostrado na Figura 14.32. Depois que esses dados são inseridos, podemos optar por examinar qualquer um dos três gráficos de Gantt disponíveis (otimista, mais provável, pessimista), clicando em um dos três novos ícones

para esse propósito na nova barra de ferramentas (os três primeiros mostrados). Como exemplo, o gráfico de Gantt pessimista é apresentado na Figura 14.33 (para atividades C–J ou tarefas 3–10), junto com o ícone que fez com que ele fosse exibido. Aqui, vemos que o tempo de conclusão esperado para todo o projeto aumentou de 100 dias (20 semanas) para 175 dias (35 semanas)!

Quanto ao conteúdo apresentado na Seção 14.6 (compensações entre tempo e custo), o MS Project não pode fazer a otimização da programação linear para determinar qual seria a melhor maneira de reduzir o tempo total do projeto, mas você pode adicionar “recursos” extras a cada atividade, para reduzir o tempo que ela levaria. Por exemplo, voltando ao caso básico dos tempos normais de conclusão, a atividade A tinha um tempo de conclusão esperado de 3 semanas e o MS Project assume

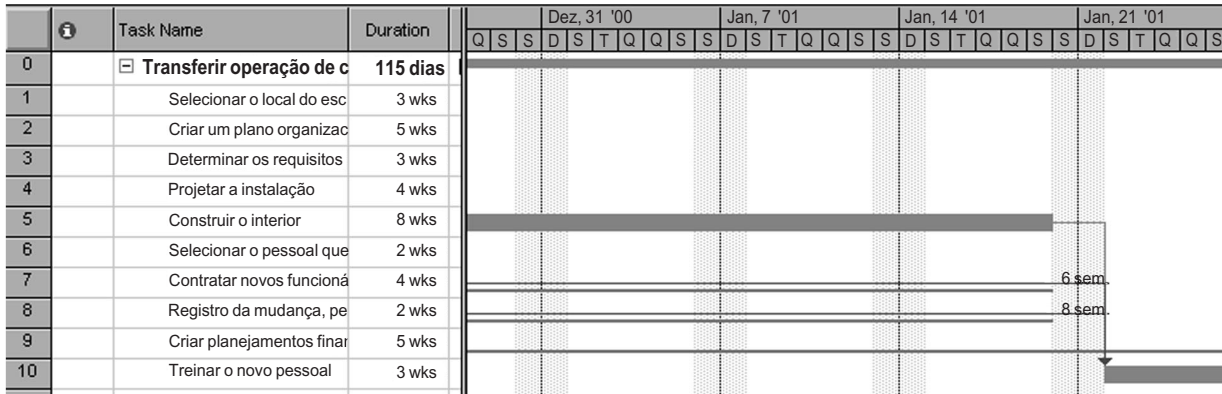


Figura 14.31 Tempos de folga para as atividades G e H.

	Task Name	Duration	Optimistic Dur.	Expected Dur.	Pessimistic Dur.
0	Transferir operação de cartão de crédito de Dallas para Des Mo	100 dias	55 dias	92,5 dias	175 dias
1	Selecionar o local do escritório	3 wks	1 wks	3 wks	5 wks
2	Criar um plano organizacional e financeiro	5 wks	3 wks	4,5 wks	9 wks
3	Determinar os requisitos de pessoal	3 wks	2 wks	3 wks	4 wks
4	Projetar a instalação	4 wks	2 wks	4 wks	6 wks
5	Construir o interior	8 wks	4 wks	7 wks	16 wks
6	Selecionar o pessoal que mudará	2 wks	1wks	1,5 wks	5 wks
7	Contratar novos funcionários	4 wks	2,5 wks	3,5 wks	7,5 wks
8	Registro da mudança, pessoal-chave, etc.	2 wks	1 wks	2 wks	3 wks
9	Criar planejamentos financeiros com instituições em Des Moines	5 wks	4 wks	5 wks	6 wks
10	Treinar o novo pessoal	3 wks	1,5 wks	3 wks	4,5 wks
11	Secure Training Facility	3 wks	1 wks	3 wks	5 wks

Figura 14.32 Planilha de entrada PERT para o projeto revisado da Global.

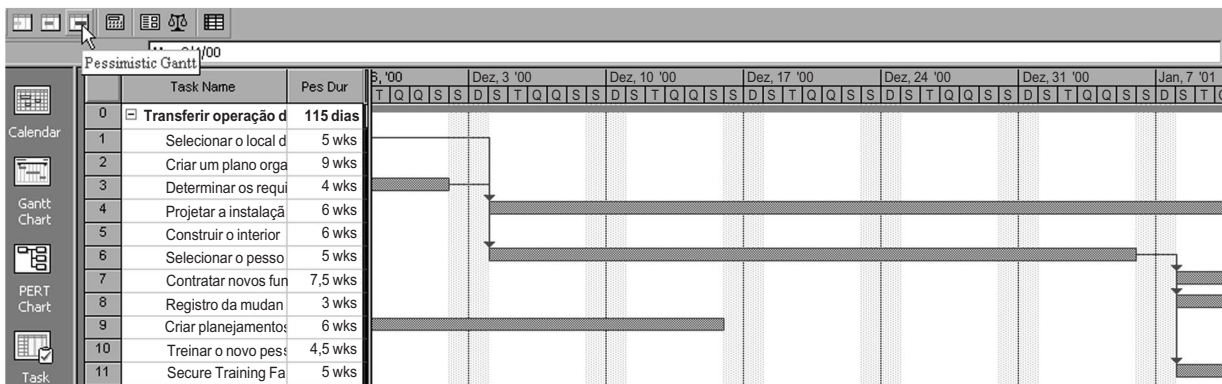


Figura 14.33 Gráfico de Gantt pessimista para o projeto revisado da Global.

que isso se dá com 100% de esforço (ou uma pessoa). Podemos decidir gastar 200% de esforço nessa tarefa (isto é, efetivamente colocando 2 pessoas na tarefa) e o MS Project reduzirá então o tempo esperado de conclusão para 1,5 semana. Para fazer isso no *software*, primeiro devemos criar um recurso que corresponda a cada atividade e depois vincular os recursos às atividades. Para fazer isso no MS Project, simplesmente utilizamos o seguinte procedimento:

1. No menu View, clique em Resource Sheet.
2. No menu View, aponte para Table:> e, em seguida, clique em Entry.
3. No campo “Resource Name”, digite o nome de um recurso em um campo em branco (por exemplo, “seleciona local” é o nome do recurso que criamos que será vinculado à tarefa “selecionar o local do escritório” no próximo parágrafo).
4. Os passos 1–3 são repetidos para todas as onze tarefas.

A outra opção que o MS Project oferece para criar recursos é listar pelo nome o pessoal que está disponível para trabalhar nas tarefas. O próximo passo é fazer a conexão com o *software* entre os 11 recursos que acabamos de criar e as 11 atividades. Isso é feito facilmente, seguindo estes passos:

1. Selecione View e, depois, Gantt Chart.
2. Na coluna “Task Name”, selecione a tarefa para a qual você quer atribuir um recurso (por exemplo, selecionar o local do escritório), clicando nela com o mouse.

TAREFA/ATIVIDADE

- Selecionar o local do escritório
- Criar um plano organizacional e financeiro
- Determinar os requisitos de pessoal
- Projetar a instalação
- Construir o interior
- Selecionar o pessoal que mudará
- Contratar novos funcionários
- Registros da mudança, pessoal-chave, etc.
- Criar planejamentos financeiros com instituições em Des Moines
- Treinar o novo pessoal
- Assegurar a instalação para treinamento

3. Clique no ícone “Assign Resources”, o que apresenta a tabela “Assign Resources”.
4. Na coluna “Name”, selecione o recurso que você deseja atribuir à tarefa (por exemplo, selecionar o local).
5. Clique em Assign (uma marca de seleção à esquerda do campo Name indica que o recurso está atribuído à tarefa selecionada).
6. Repita os passos 1–5 para todas as 11 tarefas.

Na conclusão desses passos, você deve ter uma lista de tarefas e de recursos semelhante à seguinte:

RECURSO CORRESPONDENTE

- Selecionar local
- Criar plano
- Requisitos de pessoal
- Projetar a instalação
- Construção
- Selecionar pessoal
- Contratar novos funcionários
- Registros de mudança
- Criar financeiro
- Treinamento
- Assegurar o treinamento

Agora, se clicarmos no ícone “Assign Resources” no menu principal, o MS Project mostrará uma pequena tabela listando todos os recursos atribuídos a cada tarefa e o custo atual. Se alterarmos as “unidades” de 100% para 200% e clicarmos em “Assign”, o tempo esperado para a atividade será reduzido pela metade (3 semanas > 1,5 semana) como mostrado na Figura 14.34.

Um dos recursos mais interessantes disponíveis no MS Project é a capacidade de monitorar os custos no projeto. Para que ele faça isso, devemos primeiro inserir todas as informações disponíveis (como os dados apresentados na Tabela 14.5

da Seção 14.7). Para inserir essas informações, clique em View e, em seguida, em Resource Sheet. Isso exibe uma tabela em branco para que você insira cada um dos recursos e os seus custos (veja as colunas “Resource Name” e “Std. Rate” da Figura 14.35). Novamente, nesse exemplo, identificamos inicialmente 11 recursos que têm uma correspondência direta de 1:1 com as 11 atividades (por exemplo, “Construção” é o recurso que acompanha a tarefa “Construção do interior”). Simplesmente inserimos seus custos (em uma base semanal) de acordo com as informações da Tabela 14.5 (por exemplo, a tarefa 1

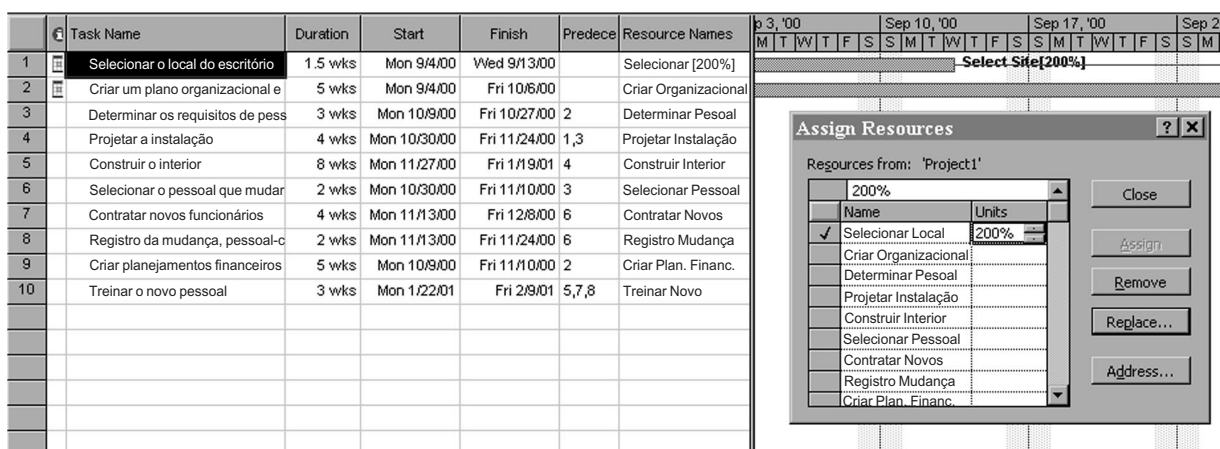


Figura 14.34 Adicionando recursos a uma atividade.

Resource Name	Initials	Max. Units	Std. Rate	Ovt. Rate	Cost/Use	Accrue At	Base Calendar
Selecionar Local	S	100%	\$700.00/wwk	\$0.00/hr	\$0.00	Prorated	Standard
Criar Plano	C	100%	\$1,000.00/wwk	\$0.00/hr	\$0.00	Prorated	Standard
Determinar Requisitos	P	100%	\$600.00/wwk	\$0.00/hr	\$0.00	Prorated	Standard
Projetar Instalação	D	100%	\$1,200.00/wwk	\$0.00/hr	\$0.00	Prorated	Standard
Construir	C2	100%	\$4,000.00/wwk	\$0.00/hr	\$0.00	Prorated	Standard
Selecionar Pessoal	S2	100%	\$500.00/wwk	\$0.00/hr	\$0.00	Prorated	Standard
Contratar Novos	H	100%	\$700.00/wwk	\$0.00/hr	\$0.00	Prorated	Standard
Registro Mudança	M	100%	\$3,500.00/wwk	\$0.00/hr	\$0.00	Prorated	Standard
Criar Plan. Financ.	M2	100%	\$800.00/wwk	\$0.00/hr	\$0.00	Prorated	Standard
Treinar	T	100%	\$10,000.00/wwk	\$0.00/hr	\$0.00	Prorated	Standard
Secure	S3	100%	\$500.00/wwk	\$0.00/hr	\$0.00	Prorated	Standard

Figura 14.35 Planilha de recursos para custos concluída.

tem um custo de US\$ 2.100 para uma duração de 3 semanas; portanto, a inserimos como US\$ 700/semana) e indicamos que queremos os custos acumulados em uma base “dividida proporcionalmente” (que é a escolha-padrão do MS Project). Outras escolhas possíveis incluem cobrança completa do custo na conclusão ou no início da tarefa. Depois que esses dados forem completamente inseridos, eles deverão aparecer como mostrado na Figura 14.35.

Um aspecto ainda mais importante é a capacidade de examinar os gráficos periodicamente e atualizar a porcentagem das diferentes atividades que estão concluídas e verificar quais custos devem ser provisionados de acordo com a divisão proporcional do orçamento. Para demonstrar essa capacidade, utilizaremos a coluna (1) da Tabela 14.8. Viemos demonstrar como se faz para inserir a % completa para uma atividade e deixamos que você insira a % da conclusão das 10 atividades restantes.

Primeiro, você deve destacar a atividade para a qual deseja inserir alguma informação. Para nosso exemplo, vamos escolher a atividade A (selecionar um local para o escritório). Em seguida, clique em **Tools**, **Tracking**> e em **Update Tasks**, e o MS Project exibirá um menu como mostrado na Figura 14.36. Simplesmente inserimos as informações solicitadas na caixa “% Complete:”. Depois que tivermos feito isso para todas as 11 atividades, podemos voltar e verificar as informações sobre o custo que o MS Project calculou (clicando em **Project**, **Project Information** e em **Statistics**), como mostrado na Figura 14.37. Até

agora, ele informa que deveríamos ter gastado US\$ 18.500 do total planejado de US\$ 90.500, com aproximadamente 45% da duração real do projeto (dias) sendo concluído. Obviamente, ainda temos pela frente as tarefas mais dispendiosas. Entretanto, talvez não seja óbvio o fato de que, para calcular os custos reais e restantes, o MS Project presumiu que cada atividade entra diretamente no orçamento (isto é, absolutamente nenhuma variância de custo). Gerentes de projeto reais reconheceriam que esse cenário é “muito otimista”, assim vamos ver como podemos informar ao software custos reais atualizados. Para atualizar os números reais do custo, devemos fazer o seguinte:

1. No menu **Tools**, clique em **Options** e, em seguida, clique na guia **Calculation**.
2. Desmarque a caixa de seleção “Actual costs are always calculated by Microsoft Project”.
3. Clique em **OK**.
4. Clique em **View** e, em seguida, em **Task Usage**.
5. Clique em **View** novamente, aponte para **Table: (default name)**> e então clique em **Tracking**.
6. No menu **Format**, aponte para **Details**> e clique em **Actual Cost**.

Isso resultará em uma tabela, como ilustrado na Figura 14.38, e você simplesmente insere os custos reais até a pre-

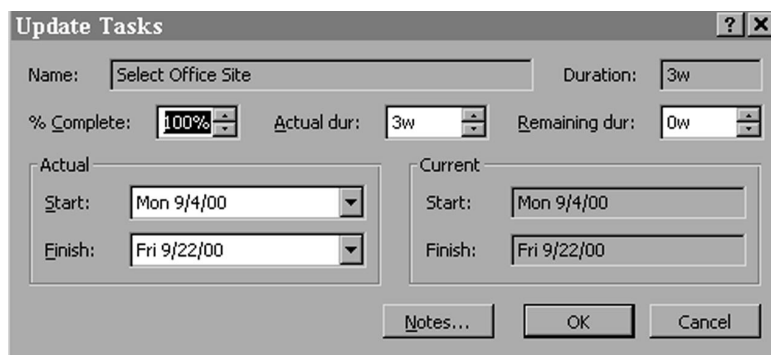


Figura 14.36 Atualizando o andamento de uma atividade.

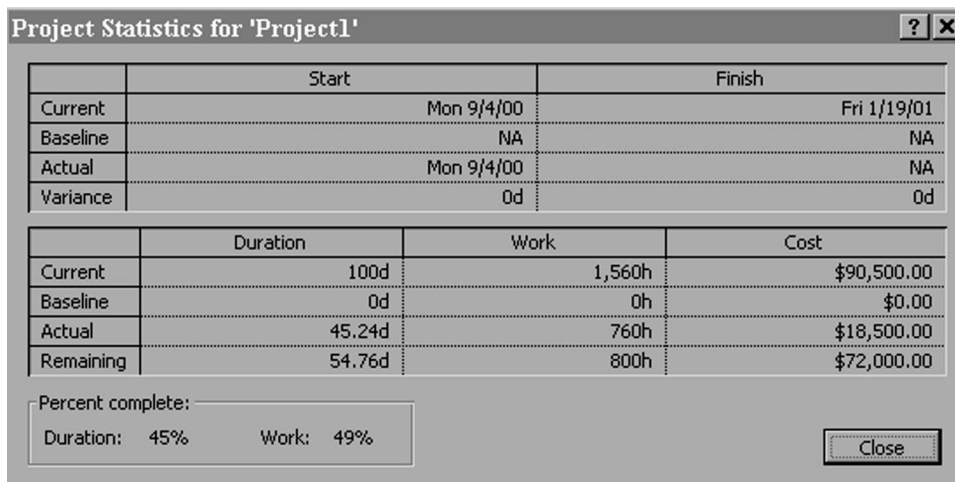


Figura 14.37 Informações de custo projetado.

	Task Name	Act. Start	Act. Finish	% Comp.	Act. Dur.	Rem. Dur.	Act. Cost	Act. Work
0	Transferir operaç	Mon 9/4/00	NA	45%	45.24 days	54.76 days	\$22,100.00	760 hrs
1	Selecionar Local Es	Mon 9/4/00	Fri 9/22/00	100%	3 wks	0 wks	\$2,300.00	120 hrs
	Selecionar Lo	Mon 9/4/00	Fri 9/22/00				\$2,300.00	120 hrs
2	Criar Plano Organiz	Mon 9/4/00	Fri 10/6/00	100%	5 wks	0 wks	\$4,900.00	200 hrs
	Criar Plano O	Mon 9/4/00	Fri 10/6/00				\$4,900.00	200 hrs
3	Determinar Requisit	Mon 10/9/00	Fri 10/27/00	100%	3 wks	0 wks	\$1,800.00	120 hrs
	Determinar R	Mon 10/9/00	Fri 10/27/00				\$1,800.00	120 hrs
4	Projetar Instalação	Mon 10/30/00	NA	75%	3 wks	1 wk	\$4,600.00	120 hrs
	Projetar Insta	Mon 10/30/00	NA				\$4,600.00	120 hrs
5	Construir Interior	NA	NA	0%	0 wks	8 wks	\$0.00	0 hrs
	Construir Inte	NA	NA				\$0.00	0 hrs
6	Selecionar Pessoal	Mon 10/30/00	Fri 11/10/00	100%	2 wks	0 wks	\$1,200.00	80 hrs
	Selecionar Pe	Mon 10/30/00	Fri 11/10/00				\$1,200.00	80 hrs
7	Contratar Novos Fu	Mon 11/13/00	NA	25%	1 wk	3 wks	\$1,400.00	40 hrs
	Contratar Nov	Mon 11/13/00	NA				\$1,400.00	40 hrs

Figura 14.38 Custos das atividades atualizados.

sente data (utilizando os valores da coluna (4) da Tabela 14.8) para cada atividade, como mostrado. Por exemplo, para a tarefa 1 (selecionar o local do escritório), o orçamento originalmente era de US\$ 2.100 (veja a Figura 14.35), mas, na verdade, utilizou-se US\$ 2.300 (um custo excedente de US\$ 200). O MS Project agora é capaz de calcular as informações sobre o custo atualizado, que são mostradas na Figura 14.39 (para ver essas informações, clique em Project, Project Information e, depois, em Statistics). Aqui, verificamos

que os custos totais reais até a presente data são de US\$ 22.100 e que o orçamento total do projeto (custo atual) agora é projetado para ser US\$ 95.600, em vez da linha de base do custo estimado de US\$ 92.000 – um custo excedente de US\$ 3.600. Como você pode ver, essa pode ser uma ferramenta muito poderosa para ajudar o gerente do projeto a controlar tanto o andamento como os custos até a presente data. O arquivo MS Project concluído é salvo no disco do aluno como GLOBALREV.MPP.

Project Statistics for 'GlobalRev.mpp'

	Start	Finish
Current	Mon 9/4/00	Fri 1/19/01
Baseline	Mon 9/4/00	Fri 1/19/01
Actual	Mon 9/4/00	NA
Variance	0d	0d

	Duration	Work	Cost
Current	100d	1,680h	\$95,600.00
Baseline	100d	1,680h	\$92,000.00
Actual	45.24d	760h	\$22,100.00
Remaining	54.76d	920h	\$73,500.00

Percent complete:
 Duration: 45% Work: 45%

Close

Figura 14.39 Informações reais dos custos do projeto.

14.9 Observações sobre implementação

Depois de 40 anos da sua formulação inicial, o conceito do caminho crítico é uma parte importante da prática atual de projetos. Na maioria das vezes, quando você tiver um grande projeto com várias atividades relacionadas, encontrará um sistema de planejamento e de informações baseado em rede que está sendo utilizado. Ao longo do tempo, as distinções entre PERT e CPM tornaram-se inexistentes. Empresas desenvolveram seus próprios modelos internos baseados em computador, incorporando aqueles recursos dos sistemas PERT e CPM originais que são importantes para suas atividades específicas. Há vários anos, a EDS (Electronic Data Systems) utiliza o AutoCAD (um programa de desenho técnico automático) para desenhar gráficos de PERT para clientes. Os gerentes percebem que esse auxílio visual ajuda tanto a eles como aos seus clientes a controlar os projetos, para identificar possíveis problemas logo no início, e atua como um bom dispositivo de comunicação. Os gráficos são impressos em várias páginas, criando um grande “*banner*” que pode ser colocado no escritório.

É comum pensar na utilização de métodos do caminho crítico em grandes projetos singulares (por exemplo, o ônibus espacial norte-americano). Entretanto, os métodos podem e são aplicados às atividades que ocorrem em intervalos bastante regulares. Um bom exemplo dessa atividade é a importante vitória de uma esteira em uma determinada operação de mineração de carvão. Essa manutenção deve ser realizada de acordo com uma programação relativamente regular e é de suma importância, pois, quando a esteira não funciona, a mina não opera. A empresa pode utilizar o diagrama de rede para uma vitória prévia ao planejar uma próxima vitória. A rede desempenha um papel importante ao garantir que todas as pessoas envolvidas entendam os vários passos e seus inter-relacionamentos, bem como assegurar que todas as peças e materiais requisitados estejam disponíveis quando necessário. Além disso, dada a rotatividade de pessoal e às fragilidades humanas, a rede serve como uma maneira conveniente de resgatar a experiência passada. As atividades associadas à vitória variam de tempos

em tempos; assim, o gráfico deve ser refeito, mas a versão anterior geralmente fornece um bom ponto de partida.

Para a empresa utilizada como exemplo, estimar a variabilidade do tempo não é uma parte importante da criação da rede PERT-CPM. Na verdade, ela conta com uma única e melhor estimativa, em vez das três que fazem parte da estratégia PERT. O elemento fundamental no desenvolvimento de um plano econômico para a vitória é a disponibilidade de vários trabalhadores qualificados (eletricistas, encanadores e assim por diante). Toda vez que uma vitória deve ser realizada, as tarefas variam um pouco e, assim, a demanda por trabalhadores varia de um ano para outro. Além disso, a oferta de trabalhadores disponíveis dentro da empresa varia de tempos em tempos, dependendo do nível das outras atividades. Em geral, a operação de planejamento envolve a execução do modelo sob uma variedade de suposições. As alternativas poderiam incluir funcionários regulares trabalhando em turnos regulares, funcionários regulares trabalhando em dois turnos, alocação de trabalhadores externos e assim por diante. Esses cálculos podem tornar claro, por exemplo, que vale a pena gastar US\$ 20.000 em horas extras com eletricistas, se isso fizer com que a mina volte a operar um dia antes.

Cabe ainda salientar o importante impacto do computador no uso do CPM e da PERT. Grandes projetos de construção podem exigir mil ou mais nós. Na década de 60, era comum encontrar o diagrama de rede para um projeto como esse pendurado nas paredes de uma sala dedicada a esse propósito, até o final do projeto. Modificações importantes no plano eram, por sua própria natureza, muito incômodas e uma comunicação entre as várias empresas contratadas era problemática. O computador modificou tudo isso. A análise agora é feita em um computador. Há um leque de *softwares* disponíveis (por exemplo, Harvard Project Manager, InstaPlan, MacProject II, Project for Windows da Microsoft [demonstrado na Seção 14.8]) que ajudarão no gerenciamento do projeto, combinando PERT e CPM com controle e informações sobre o orçamento. É uma questão muito simples utilizar o *software* para desenhar as caixas (na verdade, combinar atividades e eventos) e então conectá-las apontando para as atividades que se precedem. O programa faz

o restante (determinando o caminho crítico, os tempos de início mais cedo e de conclusão mais tarde). Várias execuções, durante toda a vida do projeto, são normais. Nas fases iniciais é importante assegurar que pedidos de componentes importantes ocorram bem antecipadamente.

Os sistemas complexos (isto é, geradores, fornalhas e assim por diante) podem ter um tempo de entrega de vários anos. A atualização regular baseada em relatórios do fornecedor permite à gerência verificar quando é necessário expedir um pedido. Novas informações são alimentadas no modelo e o programa é executado novamente em uma base semanal. Obviamente, as informações obtidas dessas execuções influenciam a alocação de recursos. Elas podem até mesmo afetar o *design* do projeto. Se um relatório de controle de custo parecido com o que aparece na Tabela 14.8 indicar custos excedentes importantes logo no início, as partes posteriores do projeto podem ser refeitas. Por exemplo, uma empresa relatou que teve de refazer o projeto de uma central de aquecimento baseado em uma caldeira, em vez de duas, depois que o custo de escavação e da colocação de estacas ultrapassou em muito o orçamento. Essa alteração permitiu à empresa realizar o projeto a tempo e dentro do orçamento previsto.

14.10 Resumo

Esse capítulo discutiu o papel da PERT e do CPM no gerenciamento de projetos. O conceito fundamental é representar um projeto como uma rede. A Seção 14.2 mostrou como utilizar uma lista de atividades para construir um diagrama de rede para um projeto, onde a lista de atividades identifica cada atividade do projeto e suas predecessoras imediatas. A Seção 14.3 apresentou como o diagrama de rede, e os tempos de atividade esperados são utilizados para determinar o caminho crítico, que é o caminho mais longo através da rede. No processo, foram definidos termos como: *tempo de início mais cedo*, *tempo de conclusão mais cedo*, *tempo de início mais tarde*, *tempo de conclusão mais tarde* e *folga*.

A Seção 14.4 introduziu a noção de variabilidade nos tempos de atividade. Ela discutiu dois tópicos principais: o sistema PERT para estimar tempos e a probabilidade de que todas as atividades no caminho crítico serão concluídas até uma data especificada. O sistema PERT para estimar o tempo é baseado na suposição de que o tempo de atividade tem uma distribuição beta. Ele utiliza uma estimativa de tempo otimista, uma mais provável e uma pessimista para deduzir o tempo esperado da atividade e o desvio-padrão do tempo da atividade.

Considere que a gerência gostaria de saber a probabilidade de que o projeto em discussão seja concluído até uma data específica. Se uma pessoa assumisse que os tempos de atividade

são independentes e que a soma dos tempos de atividade no caminho crítico tem uma distribuição normal, seria um exercício simples calcular a *probabilidade de que o caminho crítico seja concluído até uma data especificada*. Essa não é a probabilidade de que o projeto será, em última análise, concluído até a data especificada, pois o efeito da aleatoriedade poderia transformar um caminho supostamente não-crítico em um caminho crítico. Entretanto, isso oferece uma estimativa superior para a probabilidade de conclusão do projeto global dentro de uma data prevista.

A Seção 14.6 apresentou a estrutura CPM para analisar o problema das compensações entre tempo e custo. A quantidade de tempo que uma atividade leva é determinada pelo nível dos recursos dedicado a essa atividade. O modelo desta seção emprega a noção de antecipação de tempo do projeto (*crashing*). O modelo é concebido para ajudar a gerência a selecionar um tempo de conclusão para cada atividade, a fim de alcançar uma data especificada de conclusão do projeto global a um custo mínimo. A entrada básica para o modelo é um conjunto de funções, uma para cada atividade. Cada função retrata o custo da atividade como uma função linear do tempo de atividade dentro dos limites de tempo especificados. Esses dados são então utilizados na análise de um custo marginal ou em um modelo de programação linear para selecionar os melhores tempos de atividade.

A Seção 14.7 considerou o gerenciamento do custo do projeto através do sistema PERT/Custo. Ela discutiu tanto um modelo de planejamento de custos como um modelo de controle de custos. O modelo de planejamento produz em um gráfico as demandas de orçamento praticáveis como uma função do tempo. Esse gráfico é construído a partir dos perfis de uso do recurso, com base no tempo de início mais cedo e no tempo de início mais tarde.

O modelo de controle de custo do projeto é um sistema de comparação dos custos reais com os custos planejados. O modelo de custo planejado utiliza a suposição de que, para atividades parcialmente concluídas, o custo planejado é igual ao orçamento da atividade concluída, multiplicado pela proporção da atividade que foi concluída. O modelo permite à gerência reconhecer custos excedentes em várias atividades, antes que elas sejam concluídas.

A Seção 14.8 demonstrou o uso do valioso pacote de *software* MS Project for Windows para a maioria das técnicas abordadas nas seções anteriores. Esse *software* simplifica significativamente o processo de geração de *links* entre tarefas e fornece uma visualização gráfica das atividades críticas e de todo o projeto. Certamente, é mais fácil gerenciar um projeto complexo com o uso desse *software*, comparado a fazer isso manualmente ou em uma planilha.

Termos-chave

Antecipação. Um termo no método CPM que descreve o processo de reduzir o tempo exigido para completar uma atividade.

Atividade fictícia. Uma atividade imaginária que não exige nenhum tempo e é utilizada para manter os relacionamentos de precedência apropriados em um diagrama de rede PERT, utilizando AOA.

Atividade. Um trabalho que deve ser concluído como parte de um projeto.

Atividades críticas. As atividades do caminho crítico.

Caminho. Uma seqüência de atividades do nó inicial ao nó final de uma rede.

Caminho crítico. Uma seqüência de atividades que determina o caminho mais longo pela rede e que produz o tempo mínimo no qual todo um projeto pode ser concluído.

CPM. Acrônimo de Critical Path Method, é um método para programar e controlar projetos.

Custo de antecipação. O custo exigido para alcançar o tempo mínimo possível.

Custo normal. O custo exigido para alcançar o tempo normal.

Desvio ou seta. Uma linha em uma rede PERT que indica uma atividade (na AOA) ou uma precedência (na AON). Também chamado de *arco*.

Diagrama de rede. Método gráfico para representar um projeto com nós e arcos.

Distribuição beta. Uma distribuição de probabilidade utilizada para modelar os tempos de atividade na rede PERT.

Evento. A conclusão de todas as atividades que levam a um nó em uma rede PERT, utilizando AOA.

Folga. O tempo em que uma atividade pode ser postergada além do seu tempo de início mais cedo sem postergar a conclusão do projeto global.

Lista de atividades. Uma lista de trabalhos em um projeto, com seus predecessores imediatos, tempos esperados e recursos exigidos.

Nó. Um círculo em uma rede PERT que indica a conclusão de certas atividades e o início de outras (na AOA) ou da própria atividade (na AON).

Passagem da direita para a esquerda. O processo de mover-se para trás ao longo de uma rede, do fim ao começo, calculando o tempo de conclusão mais tarde e depois o tempo de início mais tarde de cada atividade.

Passagem da esquerda para a direita. O processo de mover-se ao longo de uma rede, do começo ao fim, calculando o tempo de início mais cedo e o tempo de conclusão mais cedo de cada atividade.

PERT. Acrônimo de Program Evaluation Review Technique, é um método para programar e controlar projetos.

PERT/Custo. Um sistema para determinar os padrões praticáveis do fluxo de caixa durante um projeto.

Predecessores imediatos. As atividades que devem ser concluídas imediatamente, antes do início da atividade em questão.

Tempo de antecipação. No CPM, o tempo mínimo possível para conclusão de uma atividade, correspondente à concentração máxima de recursos.

Tempo de conclusão mais cedo. Em uma rede PERT, o momento mais cedo em que uma atividade pode ser concluída.

Tempo de conclusão mais tarde. O último momento em que uma atividade pode ser concluída sem postergar a conclusão do projeto global.

Tempo de início mais cedo. Em uma rede PERT, o momento mais cedo em que uma atividade pode iniciar.

Tempo de início mais tarde. Em uma rede PERT, o último momento em que uma atividade pode iniciar sem postergar a conclusão do projeto global.

Tempo mais provável. O tempo exigido para completar uma atividade sob circunstâncias normais.

Tempo normal. No CPM, o tempo máximo para conclusão de uma atividade, correspondente ao uso mínimo de recursos.

Tempo otimista. O tempo exigido para completar uma atividade se tudo correr de maneira perfeita.

Tempo pessimista. O tempo exigido para completar uma atividade sob as condições mais desfavoráveis.

Exercícios de revisão

Verdadeiro – Falso

- V F** Em um diagrama de rede PERT utilizando AOA, cada atividade é representada por um círculo chamado nó.
- V F** O termo *evento* é utilizado para se referir aos nós em uma rede PERT utilizando AOA.
- V F** Uma atividade fictícia é exigida para uma representação de rede correta da lista de atividades apresentada ao lado.
- V F** O tempo de conclusão mais cedo de uma atividade depende do tempo de início mais cedo do projeto.
- V F** O tempo de conclusão mais tarde de uma atividade depende do tempo de conclusão mais cedo do projeto.

Atividade	Predecessores imediatos
1	–
2	–
3	1
4	2,3
5	2
6	5

6. **V F** Todas as atividades no caminho crítico têm seu tempo de conclusão mais tarde igual ao seu tempo de início mais cedo.
7. **V F** Uma análise estratégica de uma rede PERT concentra-se na alocação de recursos para reduzir o tempo no caminho crítico.
8. **V F** A probabilidade de completar o projeto até o tempo T é igual à probabilidade de completar o caminho crítico até o tempo T .
9. **V F** O desvio-padrão de um tempo de atividade é avaliado como $(b - a)/6$, onde b é o tempo pessimista e a é o tempo otimista.
10. **V F** A estratégia CPM para compensações entre tempo e custo presume que o custo é uma função linear do tempo.
11. **V F** A formulação PL do problema de redução do tempo da rede minimiza o custo total da redução do tempo sujeito a um limite superior sobre a duração do projeto.
12. **V F** No modelo PERT/Custo, a programação cedo do custo total do tempo de início mais cedo é sempre menor que ou igual à programação do custo total do tempo de início mais cedo.
13. **V F** As variabilidades do tempo que levam a um tempo total mais longo do que o esperado para o caminho crítico sempre estenderão a data de conclusão do projeto.
14. **V F** Se uma atividade não-crítica for postergada além do seu tempo de folga, todos os outros fatores permanecerão inalterados, a data de conclusão do projeto será então estendida.
15. **V F** Os gráficos de Gantt fornecem informações úteis sobre um predecessor imediato.
- b. depende do tempo de conclusão mais distante do projeto
- c. é igual ao tempo de início mais distante, menos o tempo da atividade para a mesma atividade
- d. nenhuma das anteriores
19. A folga para a atividade G
- a. é igual a LF para G – LS para G
- b. é igual a EF para G – ES para G
- c. é igual a LS para G – ES para G
- d. nenhuma das anteriores
20. O processo de definição dos tempos de atividade esperados em uma rede PERT
- a. utiliza três estimativas
- b. coloca o maior peso na estimativa do tempo mais provável
- c. é motivado pela distribuição beta
- d. todas as anteriores
21. O cálculo da probabilidade de que o caminho crítico será concluído até o tempo T
- a. presume que os tempos de atividade são estatisticamente independentes
- b. presume que o tempo total do caminho crítico é representado por uma distribuição beta
- c. requer conhecimento do desvio-padrão para todas as atividades na rede
- d. todas as anteriores
22. Na função de compensação entre tempo e custo CPM,
- a. o custo no tempo normal é zero
- b. dentro do intervalo de tempos praticáveis, o custo da atividade aumenta linearmente à medida que o tempo aumenta
- c. o custo diminui linearmente à medida que o tempo aumenta
- d. nenhuma das anteriores
23. O custo marginal da redução do tempo de uma rede poderia mudar quando
- a. o tempo da atividade que está sendo reduzido alcançar seu tempo de antecipação
- b. o tempo da atividade que está sendo reduzido alcançar um ponto em que outro caminho também seja crítico
- c. a e b
24. As idéias fundamentais nos modelos de redução do tempo de uma rede PL são
- a. o tempo de atividade é igual ao tempo normal + o tempo de antecipação
- b. o tempo de início mais cedo para uma atividade que sai de um nó é igual ao máximo dos tempos de conclusão mais cedo para atividades que saem desse nó
- c. o tempo de conclusão mais cedo é igual ao tempo de conclusão mais tarde menos o tempo de atividade
- d. nenhuma das anteriores

Múltipla escolha

16. De todos os caminhos através da rede, o caminho crítico
- a. tem o tempo máximo esperado
- b. tem o tempo mínimo esperado
- c. tem o tempo máximo real
- d. tem o tempo mínimo real
17. O tempo de início mais cedo (ES) para uma atividade que sai do nó C (na estratégia AOA)
- a. é o máximo dos tempos de conclusão mais cedo para todas as atividades que entram no nó C
- b. é igual aos tempos de conclusão mais cedo para a mesma atividade, menos seu tempo esperado
- c. depende de todos os caminhos que levam do início até o nó C
- d. todas as anteriores
18. O tempo de conclusão mais tarde (LF) para uma atividade que entra no nó H (na estratégia AOA)
- a. é igual ao máximo dos tempos de início mais tarde para todas as atividades que saem do nó H

25. O modelo PERT/Custo presume que
- cada atividade alcança seu tempo otimista
 - os custos são uniformemente distribuídos pela duração da atividade
 - os tempos da atividade são estatisticamente independentes
 - nenhuma das anteriores
26. O relatório de controle do modelo PERT/Custo
- exige um orçamento para cada atividade
 - exige um relatório sobre a percentagem da conclusão de cada atividade
 - calcula custos excedentes
 - todas as anteriores

Respostas

1. F, 2. T, 3. T, 4. F, 5. T, 6. F, 7. F, 8. F, 9. T, 10. T, 11. T, 12. F, 13. T, 14. T, 15. F, 16. a, 17. d, 18. b, 19. c, 20. d, 21. a, 22. c, 23. c, 24. d, 25. b, 26. d

Problemas

- 14-1.** A Build-Rite Construction Company identificou 10 atividades que acontecem na construção de uma casa. São elas:
- Paredes e teto (erguer as estruturas da parede e a viga mestra).
 - Fundação (colocar o concreto da fundação).
 - Madeiramento do telhado (colocar o madeiramento do telhado).
 - Revestimento do telhado (instalar o revestimento sobre o madeiramento).
 - Fiação elétrica (instalar a fiação elétrica).
 - Cobertura do telhado (cobrir o telhado).
 - Tapume exterior (colocar o tapume exterior).
 - Janelas (colocar as janelas).
 - Pintura (pintar o interior e o exterior).
 - Tábuas das paredes internas (fixar as tábuas das paredes internas).
- Além disso, as seguintes considerações são em geral observadas:
- A fiação é feita por dentro da parede, enquanto a janela é montada depois que a estrutura da parede foi erguida.
 - As tábuas da parede interna e o tapume exterior são instalados sobre a janela.
- 3.** A pintura não é iniciada até que a casa esteja impermeabilizada.
- Faça uma lista que mostre cada atividade e suas predecessoras imediatas (utilize o MS Project, se estiver disponível).
- 14-2.** A Quacker Mills contrata estudantes de engenharia, que passam por seis experiências (atividades) de gerenciamento para prepará-los para serem gerentes de plantas. Há três disciplinas e dois cargos (iniciante e avançado) em cada disciplina. Essas seis atividades estão mostradas na Tabela 14.9. Além disso, uma pessoa que não tenha sido engenheiro de linha de produção não pode chefiar um departamento e alguém que não foi supervisor não pode ser um planejador de uma linha de produtos. Crie uma lista de atividades que mostre cada atividade e suas predecessoras imediatas (utilize o MS Project, se estiver disponível).
- 14-3.** Construa o diagrama de rede utilizando a atividade em arco para o sistema de construção de casas utilizado pela Build-Rite Construction Company no Problema 14-1.
- 14-4.** Construa um diagrama de rede CPM (AON) das 12 atividades dadas na Tabela 14.10 (utilize o MS Project, se estiver disponível).

Tabela 14.9

	Disciplina		
	Engenharia de planta	Supervisão da linha de produtos	Planejamento da produção
Iniciante	Engenheiro de linha de produção 1	Supervisor 2	Planejador assistente de linha de produtos 3
Avançado	Engenheiro da planta 4	Chefe de departamento 5	Planejador de linha de produtos 6

Tabela 14.10

Atividade	Predecessores imediatos	Atividade	Predecessores imediatos
1	–	7	1, 5
2	–	8	2
3	2	9	4, 6
4	1, 3	10	6
5	2	11	7, 8
6	1, 5	12	9, 10, 11

Tabela 14.11

Número da atividade	Atividade	Predecessores imediatos	Tempo esperado (dias)
1	Paredes e teto	2	5
2	Fundação	–	3
3	Madeiramento do telhado	1	2
4	Revestimento do telhado	3	3
5	Fiação elétrica	1	4
6	Telhas	4	8
7	Tapume exterior	8	5
8	Janelas	1	2
9	Pintura	6, 7, 10	2
10	Tábuas das paredes internas	8, 5	3

14-5. A Build-Rite estimou os tempos fornecidos na Tabela 14.11 como necessários para completar cada uma das tarefas que fazem parte da construção de uma casa. Para cada atividade, forneça o

- (a) Tempo de início mais cedo
- (b) Tempo de conclusão mais cedo
- (c) Tempo de início mais tarde
- (d) Tempo de conclusão mais tarde
- (e) Folga

Além disso, identifique o caminho crítico (utilize o MS Project, se estiver disponível).

14-6. Como gerente de projeto, você se depara com a rede de atividades e os tempos de atividade estimados mostrados na Figura 14.40. Para cada atividade, forneça o

- (a) Tempo de início mais cedo
- (b) Tempo de conclusão mais cedo
- (c) Tempo de início mais tarde
- (d) Tempo de conclusão mais tarde
- (e) Folga

Além disso, identifique o caminho crítico (utilize o MS Project, se estiver disponível).

14-7. Você é contratado como consultor de produção. Atualmente, a planta utiliza uma estratégia PERT-CPM para administrar a produção descrita pela rede de atividades da Figura 14.41. Entretanto, com base em sua avaliação, as predecessoras imediatas de cada atividade são as seguintes:

Atividade	Predecessores imediatos	Atividade	Predecessores imediatos
A	–	H	E
B	–	I	G
C	A	J	E
D	B	K	H
E	B	L	F
F	C	M	L, I, K, J
G	D		

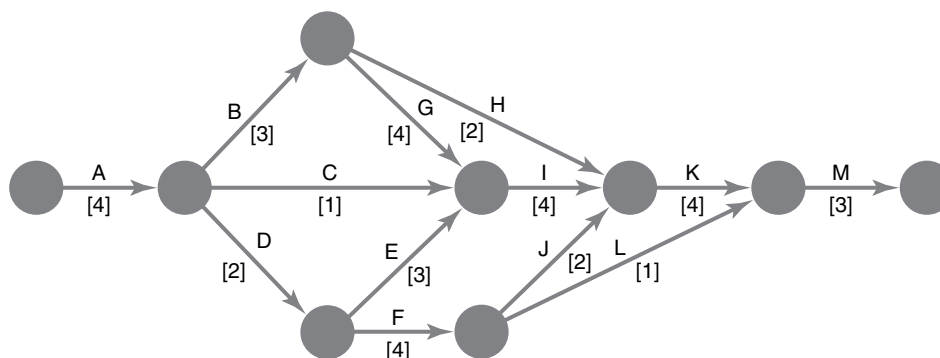


Figura 14.40

- (a) Desenhe a rede de atividades revisada.
- (b) Calcule o tempo de início mais cedo e o tempo de conclusão mais tarde para a rede revisada, baseado na suposição de que cada atividade demora 1 hora a mais do que sua predecessora, na ordem alfabética (isto é, A = 1 hora, B = 2 horas, etc).
- (c) Encontre a folga de cada atividade e identifique o caminho crítico (utilize o MS Project, se estiver disponível).
- (d) Qual é a redução de tempo obtido com essa rede de atividades revisada com relação à rede original?

14-8. Com base no histórico da empresa, a gerência da Build-Rite determinou que os tempos pessimistas, mais prováveis e otimistas de cada atividade são aqueles apresentados na tabela a seguir:

Número da atividade	Atividade	Tempo otimista (dias) a	Tempo mais provável (dias) m	Tempo pessimista (dias) b
1	Paredes e teto	3	5	7
2	Fundação	2	3	4
3	Madeiramento do telhado	1	2	3
4	Revestimento do telhado	1	2	9
5	Fiação elétrica	4	4	4
6	Telhas do telhado	4	8	12
7	Tapume exterior	1	3	17
8	Janelas	1	2	3
9	Pintura	2	2	2
10	Tábuas das paredes internas	2	3	4

- (a) Calcule o tempo esperado da atividade e o desvio-padrão para cada atividade (utilize o MS Project, se estiver disponível).
- (b) Imprima uma cópia do gráfico de Gantt pessimista, se o MS Project estiver disponível.

14-9. Com base na rede de atividades mostrada na Figura 14.42 e nos tempos de atividade associados fornecidos a seguir, calcule o valor esperado e o desvio-padrão para cada tempo de atividade.

- (a) Encontre os tempos de início mais cedo, os tempos de conclusão mais cedo, os tempos de início mais tarde, os tempos de conclusão mais tarde e a folga para cada atividade.
- (b) Especifique o caminho crítico (utilize o Project, se estiver disponível).

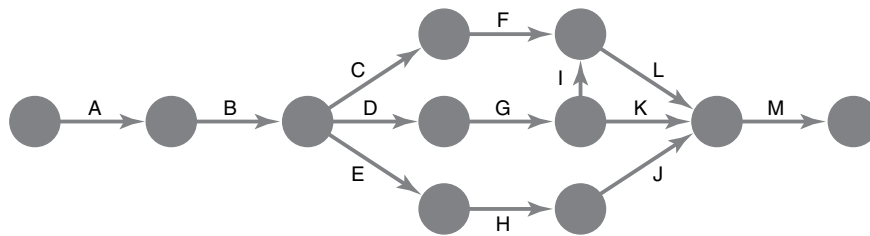


Figura 14.41

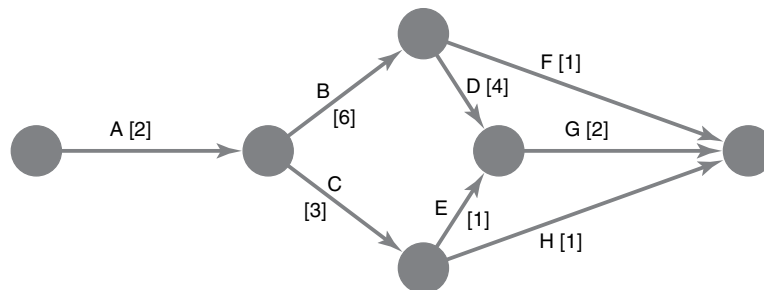


Figura 14.42

Atividade	Otimista	Mais Provável	Pessimista
A	2	3	4
B	2	4	6
C	1	2	3
D	1	3	5
E	2	3	4
F	1	4	7
G	2	2	2
H	2	5	8
I	1	3	5
J	2	3	4

14-10. Suponha que os tempos de atividade na rede de atividades da Build-Rite (veja os Problemas 14-1, 14-5 e 14-8) sejam independentes entre si e que a soma de qualquer combinação dos tempos da atividade seja normalmente distribuída.

- (a) Qual é a probabilidade de conclusão de todas as atividades no caminho crítico atual dentro de 12 dias?
- (b) E dentro de 25 dias?
- (c) Que teríamos para a construção de uma casa em 25 dias? Comente sua resposta.

14-11. Para a rede do Problema 14-9, responda às seguintes perguntas:

- (a) Em circunstâncias normais, encontre a probabilidade de que as atividades no caminho crítico serão concluídas dentro de 20 semanas.
- (b) Quantas semanas devem ser permitidas para se ter 95% de probabilidade de conclusão do caminho crítico a tempo?

14-12. Os engenheiros da Build-Rite calcularam o custo da conclusão de cada atividade tanto no tempo normal como no tempo de antecipação, quando os valores do tempo normal e do tempo de antecipação correspondem, respectivamente, às estimativas do tempo esperado e do tempo otimista do problema 14-8. Os resultados são fornecidos a seguir.

- (a) Especifique o tempo normal, o custo normal, o tempo de antecipação, o custo de antecipação, o número máximo de dias da antecipação e o custo por dia da antecipação para cada atividade. Presuma relacionamentos de custos lineares.
- (b) Calcule o custo esperado do projeto (baseado no tempo normal).
- (c) Suponha que a empresa tenha de reduzir o tempo de conclusão em sete dias. Quanto essa redução custaria?
- (d) Quanto custaria reduzir o tempo de conclusão em 11 dias?

Número	Atividade	Custo normal (US\$)	Custo de antecipação (US\$)
1	Paredes e teto	50	72
2	Fundação	20	30
3	Madeiramento do telhado	15	30
4	Revestimento do telhado	8	20
5	Fiação elétrica	30	30
6	Telhas do telhado	13	21
7	Tapume exterior	45	65
8	Janelas	45	52
9	Pintura	40	40
10	Tábuas das paredes internas	22	34

14-13. Utilize os custos normais do Problema 14-12 e os dados do tempo do problema 14-5 para criar as tabelas dos custos do início mais cedo e do início mais tarde, e o gráfico dos gastos cumulativos *versus* o tempo para a Build-Rite.

14-14. Os recursos exigidos para as atividades do Problema 14-6 são fornecidos ao lado. Crie as tabelas dos custos do início mais cedo e do início mais tarde, e o gráfico das demandas cumulativas do orçamento *versus* o tempo para as duas agendas (utilize o MS Project, se estiver disponível).

14-15. O registro de histórico dos gastos da Build-Rite ao final do dia 15 é fornecido no início da próxima página.

Avalie os custos do projeto atual com base nas suposições de que os custos planejados são os custos normais fornecidos no Problema 14-12, considerando que o tempo exigido é igual ao fornecido no Problema 14-5 e que

Atividade	Recursos totais exigidos (US\$)
A	2.800
B	3.000
C	900
D	3.000
E	6.000
F	12.000
G	3.200
H	3.200
I	7.200
J	7.000
K	2.400
L	2.000
M	4.500

Número da atividade	Atividade	Custo acarretado até a presente data (US\$)
2	Fundação	22
1	Paredes e teto	46
3	Madeiramento do telhado	15
4	Revestimento do telhado	10
6	Telhas do telhado	4,50
5	Fiação elétrica	20
8	Janelas	22,50
10	Tábuas das paredes internas	20
7	Tapume exterior	40
9	Pintura	0

- (a) Todas as atividades iniciam na data mais cedo possível (utilize o MS Project, se estiver disponível).
- (b) Todas as atividades iniciam na data mais tarde possível (utilize o MS Project, se estiver disponível).

Nos dois casos, suponha que o custo planejado seja igual ao orçamento da atividade concluída, multiplicado pela proporção da atividade que está concluída.

14-16. Examine os dados do Problema 14-14. Prepare uma análise do custo do projeto até a presente data, considerando que os números a seguir representassem o *status* do final da oitava unidade de tempo (utilize o MS Project, se estiver disponível). Suponha que o custo planejado seja igual ao orçamento da atividade concluída multiplicado pela proporção da atividade que está concluída.

Atividade	% Concluído	Custo até a presente data (US\$)
A	100	2700
B	100	3200
C	100	900
D	100	3500
E	50	2000
F	70	8000
G	20	700
H	50	1700
I	0	0
J	0	1000
K	0	0
L	0	500
M	0	0

Problemas de aplicação

14-17. Considere a rede e os tempos de atividade mostrados na Figura 14.43. Você gostaria de reduzir o tempo mínimo para completar o projeto. Suponha que você possa reduzir o tempo de uma atividade o quanto quiser, contanto que aumente alguma outra (ou outras) atividade pela mesma quantidade. Por exemplo, você pode reduzir G em 1 hora, se aumentar C e D por meia hora cada. Suponha que sejam permitidos tempos de atividade zero.

- (a) Encontre o caminho crítico atual e o tempo mínimo exigido para completar o projeto (utilize o MS Project, se estiver disponível).
- (b) Realoque os tempos para alcançar o tempo mínimo possível para completar o projeto (utilize o MS Project, se estiver disponível). Observe que, nessa rede, o total de todos os tempos de atividade é igual ao total atual de 20 horas.

14-18. Considere a rede de atividades do Problema 14-9. Na tabela a seguir estão as estimativas de custos para a conclusão no tempo de aproximação e no tempo normal, quando os tempos correspondem ao tempo otimista e ao tempo esperado, respectivamente:

Atividade	Custo de antecipação (US\$)	Custo normal (US\$)
A	20	12
B	50	40
C	40	30
D	20	14
E	60	45
F	35	20
G	30	30
H	25	10
I	30	15
J	12	10

- (a) Prepare uma tabela que mostre o tempo normal, o custo normal, o tempo de antecipação, o custo de antecipação, o número máximo de semanas de antecipação e o custo máximo por semana de antecipação para cada atividade.
- (b) Qual seria o custo mínimo do projeto se ele fosse concluído em

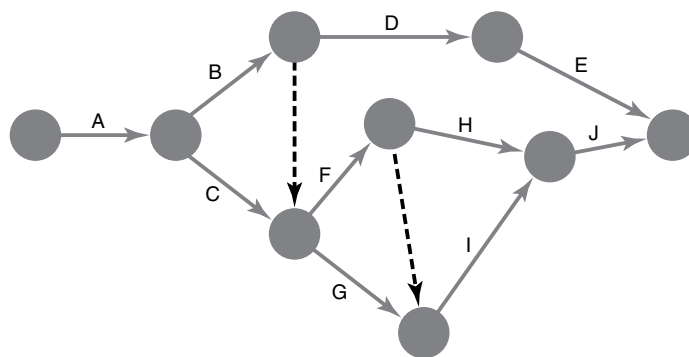


Figura 14.43

- (i) 19 semanas?
 - (ii) 18 semanas?
 - (iii) 17 semanas?
- (c) Formule um modelo de programação linear que avalie o custo adicional da redução do tempo de conclusão para 9 semanas. Qual é a melhor maneira de alcançar a redução? Qual é o custo adicional?

14-19. Consulte os Problemas 14-3 e 14-12 e formule um modelo de programação linear que permitiria à Build-Rite avaliar o custo de redução do tempo da sua rede de atividades em x horas.

14-20. Considere a rede de atividades e os tempos normais de atividade mostrados na Figura 14.44, bem como os dados da tabela a seguir.

Atividade	Custo/antecipação Unidade (US\$)	Antecipação máxima Unidades
A	10	2
B	20	8
C	5	5
D	5	5
E	15	2
F	-	0

- (a) Encontre o caminho crítico e o tempo mínimo exigido para completar o projeto.
- (b) Prepare uma tabela que mostre em quais atividades deve-se reduzir o tempo à medida que a duração do projeto diminui.

14-21. Essa é uma versão mais complexa do Problema 14-17. Como supervisor de produção da Hurricane Fan Company, vo-

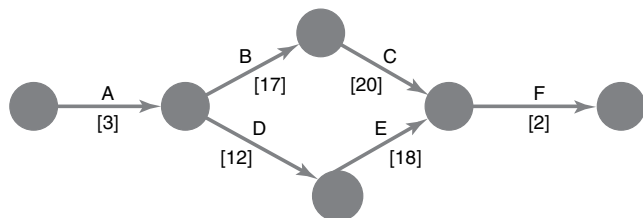


Figura 14.44

cê utilizou técnicas PERT-CPM para agendar suas execuções de produção. Sua rede atual de atividades e os tempos de atividade estão mostrados na Figura 14.45. Um consultor de produção indicou que, devido à semelhança nas habilidades para os trabalhos necessários para cada atividade, os recursos são perfeitamente transferíveis entre as atividades (isto é, o tempo exigido para fazer uma atividade pode ser reduzido por qualquer quantidade, aumentando-se pela mesma quantidade o tempo exigido para outro trabalho). Se o consultor estiver correto, qual o tempo necessário para reduzir cada rodada de produção?

14-22. Esse problema representa uma avaliação mais detalhada das suposições PERT. Considere um projeto com cinco atividades e os relacionamentos de precedência fornecidos na tabela a seguir.

Atividade	Predecessores	Intervalo
A	nenhum	20 a 60
B	nenhum	20 a 29
C	A	20 a 60
D	B	25 a 29
E	D	25 a 29

A coluna Intervalo indica o possível intervalo de dias que poderia levar para completar uma atividade.

- (a) Suponha que qualquer tempo dentro do intervalo seja igualmente possível (isto é, uma distribuição uniforme). Utilize a análise PERT padrão e calcule a duração esperada do projeto. Calcule também a probabilidade de conclusão do projeto na duração esperada + 5 dias. Utilize o fato de que, se o intervalo estiver entre a e b , então o tempo médio será $\frac{(a+b)}{2}$ e a variância do tempo será $\frac{(b-a)^2}{12}$.
- (b) Agora, configure uma planilha para simular o projeto (utilizando Crystal Ball ou @Risk, se estiverem disponíveis). Simule 100 avaliações e calcule a duração média do projeto. Ela é maior ou menor do que sua resposta anterior? Por quê?
- (c) Qual é a probabilidade de que o projeto seja concluído antes do tempo esperado no item (a) + 5 dias. Ela é maior ou menor do que sua resposta anterior? Por quê?

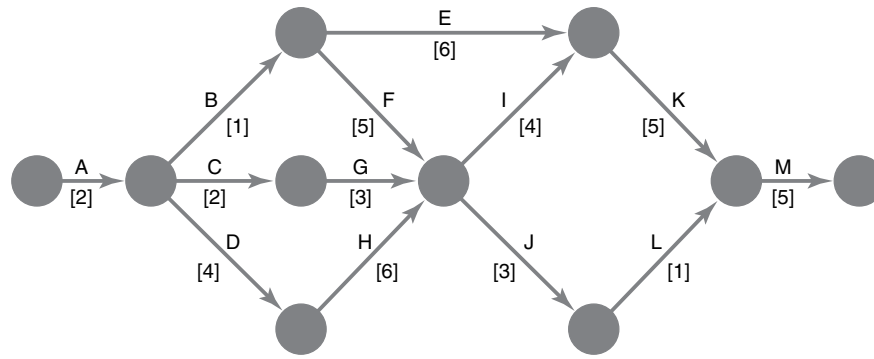


Figura 14.45

14-23. Esse problema é igual ao Problema 14-22, mas agora suponha que os tempos de atividade são normalmente distribuídos, com as seguintes médias e desvios-padrão:

- (a) Utilize a análise PERT padrão e calcule a duração esperada do projeto. Calcule também a probabilidade de que o projeto seja concluído na duração esperada + 5 dias. Sua resposta é a mesma que na parte (a) do Problema 14-22? Por quê?
- (b) Agora, configure uma planilha para simular o projeto (utilizando Crystal Ball ou @Risk, se estiverem disponíveis). Simule 100 avaliações e calcule a duração média do projeto. Ela é maior ou menor do que sua resposta anterior? Por quê?

- (c) Qual é a probabilidade de que o projeto seja concluído antes do tempo esperado da parte (a) + 5 dias. Ela é maior ou menor do que sua resposta anterior? Por quê?
- (d) Qual é o grau de sensibilidade da análise de simulação para a forma da distribuição do tempo de atividade (uniforme no problema 14-22, normal no Problema 14-23)?

Atividade	Média	Desvio-padrão
A	40	11,5
B	27	1,15
C	40	11,5
D	27	1,15
E	27	1,15

Referências

Rafael Andreu and Albert Corominas, “SUCCESS92: A DSS for Scheduling the Olympic Games”, *Interfaces*, 19, no. 5 (1989): 1–12.

Richard Staats, “Desert Storm: A Re-examination of the Ground War in the Persian Gulf, and the Key Role Played by OR”, *OR/MS Today* (December 1991): 42–56.