

Uma aplicação do Earned Value Management com Simulação Monte Carlo em projetos de engenharia

Felipe Kahan Bonato (UFSCar) - kahan_usa@hotmail.com

Andrei Aparecido de Albuquerque (UFSCar) - andreialbuq@yahoo.com

Resumo:

Com as rápidas mudanças no mercado, cada vez mais as empresas se orientam por estruturas de projetos. Um projeto, que difere de uma atividade rotineira pelo fato de ser único, deve ser gerenciado para que proporcione os benefícios esperados sem custos maiores que o previsto. Desse modo, deve-se planejá-lo e controlá-lo de forma a identificar desvios entre o planejado e o realizado. Para esse acompanhamento, o Earned Value Management (EVM) vem mostrando crescente aceitação. Além de mostrar indicadores sobre o avanço realizado, o EVM pode ser usado para antever os custos finais do projeto, através de cenários simulados. Este trabalho tem como objetivo integrar e aplicar o EVM com a simulação de Monte Carlo para prever os custos finais de dois projetos de engenharia de detalhamento. Para isso, será utilizado o modelo proposto por Vargas (2004), mas com alterações nos cálculos dos cenários pessimista, otimista e mais provável das distribuições triangulares que servem de entrada para o cálculo do custo estimado do projeto. Os resultados das simulações dos dois projetos foram avaliados criticamente de forma qualitativa e comparativa, mostrando que a integração entre as ferramentas gera, de fato, previsões de custos úteis à gestão de projetos.

Palavras-chave: Gerenciamento de projetos. Earned Value Management. Simulação de custos.

Área temática: Métodos quantitativos aplicados à gestão de custos

Uma aplicação do *Earned Value Management* com Simulação Monte Carlo em projetos de engenharia

Resumo

Com as rápidas mudanças no mercado, cada vez mais as empresas se orientam por estruturas de projetos. Um projeto, que difere de uma atividade rotineira pelo fato de ser único, deve ser gerenciado para que proporcione os benefícios esperados sem custos maiores que o previsto. Desse modo, deve-se planejá-lo e controlá-lo de forma a identificar desvios entre o planejado e o realizado. Para esse acompanhamento, o *Earned Value Management* (EVM) vem mostrando crescente aceitação. Além de mostrar indicadores sobre o avanço realizado, o EVM pode ser usado para antever os custos finais do projeto, através de cenários simulados. Este trabalho tem como objetivo integrar e aplicar o EVM com a simulação de Monte Carlo para prever os custos finais de dois projetos de engenharia de detalhamento. Para isso, será utilizado o modelo proposto por Vargas (2004), mas com alterações nos cálculos dos cenários pessimista, otimista e mais provável das distribuições triangulares que servem de entrada para o cálculo do custo estimado do projeto. Os resultados das simulações dos dois projetos foram avaliados criticamente de forma qualitativa e comparativa, mostrando que a integração entre as ferramentas gera, de fato, previsões de custos úteis à gestão de projetos.

Palavras-chave: Gerenciamento de projetos. *Earned Value Management*. Simulação de custos.

Área Temática: Métodos quantitativos aplicados à gestão de custos.

1 Introdução

“Globalização, evolução tecnológica, acirramento da concorrência e novos segmentos de mercado” são fatores apontados por Vargas (1998) como os grandes responsáveis pelas rápidas mudanças que ocorrem no mercado atualmente, incluindo os sistemas de gestão. Para esse autor, a velocidade dessas transições contrasta com as tradicionais organizações, que se vêm praticamente obrigadas a se orientar por estruturas de projeto.

Um projeto é um instrumento fundamental para qualquer atividade de mudança e geração de produtos e serviços. Todo produto ou serviço gerado por um projeto é diferente de outros. Os projetos envolvem a realização de algo jamais realizado anteriormente e logo é único. Um projeto é progressivo porque à medida que é mais bem compreendido, ele é progressivamente elaborado, ou seja, maior é o detalhamento das características peculiares que o distinguem como único (DISNMORE; CAVALIERI, 2003).

Independentemente do negócio e da estrutura organizacional, existem projetos e a necessidade de serem gerenciados e terem seu desempenho periodicamente avaliado (GIACOMETTI et. al, 2007). Avaliar e controlar significa encontrar discrepâncias entre o planejado e o realizado, cabendo ao gerente de projeto e à sua equipe identificar as causas dos desvios e tomar decisões para colocar o projeto dentro dos valores planejados (NAVON, 2005).

Nesse contexto, o *Earned Value Management* (EVM), ou Gerenciamento pelo Valor Agregado, oferece um diagnóstico preciso e completo dos prazos e custos em qualquer fase do projeto (OLIVEIRA, 2003). De acordo com Kim et. al (2003) e Giacometti et. al (2007), a utilização do EVM como ferramenta de controle está ganhando aceitação elevada, já que cada vez tem-se estudado e evoluído a técnica de modo que os seus problemas percebidos estão

diminuindo e as utilidades, melhorando. Combinado com o método de Monte Carlo, o custo estimado do projeto pode ser calculado milhares de vezes, considerando o melhor caso, o mais provável e o pior. Dessa forma, é gerada uma distribuição de probabilidades que auxilia na tomada de decisões ao contrário de se obter uma projeção determinística (BAENA, 2010).

Este trabalho tem por objetivo integrar e aplicar o *Earned Value Management* com a simulação de Monte Carlo para prever os custos finais de projetos de engenharia de detalhamento. Com esse objetivo, o problema pode ser resumido na seguinte questão: o *Earned Value Management* pode ser utilizado em conjunto com a simulação Monte Carlo para prever, a partir de múltiplos cenários simulados, os custos finais de projetos de engenharia de detalhamento?

Com a combinação das técnicas, pode ser possível prever de maneira probabilística a conclusão de um projeto em termos de custo. Para verificar sua aplicação, o modelo será utilizado em dois diferentes projetos de engenharia de detalhamento para que seja feita uma análise crítica e comparativa do desempenho dessas simulações.

Além disso, tem-se a ambição de atender a uma das proposições realizadas por Vargas (2004) ao fim de seu trabalho, o qual será base deste, em que sugere uma avaliação da qualidade dos dados gerados pelo modelo em comparação ao desempenho real de projetos.

2 Revisão da literatura

Nesta seção serão discutidos os conceitos relacionados ao gerenciamento de projetos situando e definindo o *Earned Value Management* nesse contexto, bem como seus indicadores.

2.1 Gerenciamento de projetos

De acordo com o PMI (2008), por meio de seu guia PMBOK (*Project Management Body of Knowledge*), um documento do *Project Management Institute* (PMI) que estabelece normas, métodos, processo e práticas em gerenciamento de projetos, um projeto é “um esforço temporário empreendido para criar um produto, serviço ou resultado únicos”.

Atentando para o fato de que um projeto é finito, o mesmo difere-se de um trabalho contínuo justamente por ter datas de início e fim bem definidas e ser conduzido por uma organização de trabalho designada para esse propósito, dissolvendo-se após a conclusão do mesmo (HENRIQUES, 2008).

Por outro lado, Heyworth (2002), embora de forma mais genérica que os autores mencionados anteriormente, aborda a questão do planejamento em projetos, definindo suas características fundamentais, como o “propósito de induzir uma mudança ou inovação, o envolvimento de pessoas e a existência de um orçamento e de um planejamento bem definidos, com vista à concretização dos fins inicialmente propostos e que motivam o seu aparecimento”.

Ao elencar o planejamento como uma característica dos projetos, Heyworth (2002) acaba por introduzir um dos alicerces do gerenciamento de projetos, cujo conceito engloba a definição, o planejamento e a monitoração de um conjunto de tarefas relacionadas entre si, de forma a atingir com sucesso as ambições e os objetivos definidos pelos *stakeholders* do projeto (KERZNER, 2006).

Para Kerzner (2006), “o desafio para quem não quer ser mais uma empresa no mercado está em gerenciar atividades nunca realizadas no passado e que podem jamais vir a se repetir no futuro. No mundo atual, os projetos tornam-se aparentemente cada vez maiores e mais complexos”.

Para lidar com a complexidade crescente dos projetos e dar respostas a um mercado

também mais competitivo, surgem cada vez mais métodos de apoio ao gerenciamento de projetos.

Pelo PMI (2008), o gerenciamento do projeto é acompanhado através de cinco grupos de processos: iniciação, planejamento, execução, controle e finalização, os quais podem ainda conter sub processos. O grupo de planejamento engloba, entre outras atividades, algumas relacionadas a três das nove áreas de conhecimento descritas pelo guia:

- Gerenciamento de escopo, com a coleta dos requisitos das partes interessadas para atingir os objetivos, com a definição do escopo do projeto e com a criação da estrutura analítica do projeto (EAP), que é o trabalho do projeto subdividido em componentes menores de fácil gerenciamento;
- Gerenciamento do tempo do projeto, com a definição e o sequenciamento das atividades, relacionando suas entregas, com a estimativa dos recursos necessários, ou seja, o levantamento de tipos e quantidades dos materiais, de pessoas, de equipamentos e/ou de suprimentos necessários, com o processo de estimativa de tempo de duração das atividades e, por fim, com a elaboração do cronograma;
- Gerenciamento dos custos, com o processo de estimativa dos custos, convertendo em unidades monetárias a necessidade de recursos do projeto e com a determinação do orçamento, ou seja, com a agregação dos custos estimados de atividades individuais ou pacotes de trabalho (PMI, 2008).

Os estágios de planejamento mencionados acontecem antes que o projeto real tenha início. O controle do projeto é o elo entre o planejar e o fazer, lidando, portanto, com as atividades que ocorrem durante a execução do projeto (SLACK et al., 2007).

Efetivamente, controlar escopo, tempo e os custos significa comparar o desempenho real do projeto nessas três áreas em relação à linha de base que foi traçada no planejamento. Em relação a escopo, isso garante que todas as mudanças solicitadas ou ações corretivas ou preventivas sejam processadas. Analogamente, controlar o cronograma significa monitorar o andamento do projeto e seu progresso e determinar os fatores que geram as mudanças em si e o gerenciamento das alterações da linha de base do cronograma. O controle de custos assume o mesmo raciocínio, mas é um pouco mais sistematizado ao incluir tarefas de comunicação justamente por envolver os recursos financeiros dos interessados (PMI, 2008).

Para controlar as três áreas descritas, o PMI (2008), bem como Slack et al. (2007) indicam o *Earned Value Management*. O PMI (2008) traz o EVM como o método comumente usado para a medição do desempenho que integra “as medidas de custo, escopo e cronograma para auxiliar a equipe de gerenciamento a avaliar e medir o desempenho e progresso do projeto”. Para Slack et al. (2007), que o apresenta como “valor ganho”, “o método de controle de projeto avalia o desempenho do projeto pela combinação de tempo e custo. Em vez de medir o progresso do projeto em dias, ele mede em trabalho feito”.

2.2 Earned Value Management

Rovai e Toledo (2002) apontam o EVM como “uma das mais eficazes ferramentas técnicas utilizadas na gestão de projetos”. Destacam sua característica de advertência prévia sobre o andamento do projeto já em sua fase inicial, com aproximadamente 10% ou 15% de tarefas concluídas. Definem que o objetivo do EVM é avaliar se o projeto está cumprindo as tarefas do cronograma no prazo planejado, dentro do orçamento aprovado e se não há nenhum desvio de escopo, garantindo o objetivo, portanto, de controlar o tripé escopo-tempo-custo.

O PMI (2008) define o EVM como um método e, além de concordar com a definição anteriormente apresentada, acrescenta que depende das informações de uma linha de base integrada contra a qual o desempenho possa ser medido, ao longo do projeto. Outra

característica interessante é que pode ser aplicado a todos os projetos em qualquer setor. Assim, monitora as três dimensões chave para cada conta de controle.

Henriques (2008) defende, ainda, que a aplicação da metodologia permite detectar e quantificar potenciais desvios antecipadamente, avaliar a performance da execução face ao planejado, melhorar a comunicação com os *stakeholders*, baseando-se em indicadores quantitativos, aumentar a informação disponível para a equipe de trabalho, baseada em dados impessoais, estabelecer previsões e tendências e comparar o desempenho entre os vários projetos.

Para a implementação do EVM, algumas condições são necessárias. Em primeiro lugar, Meredith e Mantel (2002) enfatizam a importância do escopo, visto que sua indefinição inviabiliza o uso do EVM uma vez que o padrão de trabalho a ser realizado é demasiadamente genérico. Por outro lado, tanto o PMI (2008) quanto Vargas (2004) parecem concordar que para se controlar e se ter um parâmetro de comparação, é necessário realizar o planejamento do tempo e do custo, tendo elaborado a linha de base em termos de cronograma e de orçamento.

Assim, Raby (2000) chega a propor oito passos essenciais para a aplicação do EVM: estabelecer a WBS, alocar os custos, programar as atividades, validar o plano, monitorar o progresso e atualizar o cronograma, identificar e inserir os custos efetivamente realizados, calcular os índices do EVM e analisar as informações e preparar os relatórios.

Pelo sétimo passo de Raby (2000), é importante compreender os cálculos que são úteis e necessários para o controle de projetos pela técnica do EVM. As variáveis que seguem são discutidas e apresentadas, entre outros, por Vargas (2004), Anbari (2003) e Henriques (2008).

2.3 Variáveis e indicadores do EVM

Budgeted Cost of Work Scheduled (BCWS): é a soma dos custos aprovados para a execução das tarefas, de acordo com o planejado, ou seja, durante o tempo previsto para a sua execução. Indica o custo global (acumulado) do projeto na linha base e permite a previsão dos gastos até uma determinada data. Também denominado *Planned Value (PV)*. O acumulado total recebe o nome de *Budget at Completion (BAC)*, que não é mais do que o orçamento completo.

Budgeted Cost of Work Performed (BCWP): é o valor dos custos originalmente orçados para a quantidade de trabalho executada até a data de estado. Também denominado *Earned Value (EV)*, é determinado a partir da porcentagem de conclusão das tarefas em valores acumulados.

Cost of Work Performed (ACWP): é a quantificação dos custos efetivos na realização das tarefas já realizadas até um determinado momento. Denominado também de *Actual Cost (AC)*, representa o custo efetivo da tarefa a partir dos dados reais de trabalho executado, desde o início até a data de estado, ou seja, são valores acumulados.

Existem algumas formas de se medir o BCWP, segundo Harroff (2000) e Fleming e Koppelman (2000): *milestones* com pesos, fórmulas fixas, unidades equivalentes e porcentagem completa. O presente trabalho fará uso do último, que premissa a atribuição de certas porcentagens na medida em que o trabalho se realiza.

Henriques (2008), afirma que, com base nas três variáveis indicadas (BCWS, BCWP e ACWP), existem indicadores que permitem avaliar o estado e desempenho do projeto em qualquer momento do seu percurso.

Cost Variance (CV): é o desvio de custos. Mede a diferença entre o custo previsto para a quantidade de trabalho já executada e o custo real efetivamente necessário para tal execução, conforme equação 1 a seguir:

$$CV = BCWP - ACWP \quad (1)$$

Schedule Variance (SV): é o desvio de prazos. Mede a diferença entre a quantidade de trabalho já executada e a que estava prevista executar, para a mesma data de estado, conforme a equação 2 abaixo:

$$SV = BCWP - BCWS \quad (2)$$

Cost Performance Index (CPI): é o índice de desempenho de custos. Relaciona os custos previstos para a quantidade de trabalho já executada e os custos reais, gastos na sua execução. Sempre que este índice for superior à unidade, significa que o custo dos trabalhos já realizados é inferior ao que foi planejado. A equação 3 mostra o cálculo do CPI.

$$CPI = BCWP/ACWP \quad (3)$$

Schedule Performance Index (SPI): é o índice de desempenho de prazos. Relaciona a quantidade de trabalho executada e a prevista para execução na mesma data de estado. Sempre que este indicador for superior à unidade, significa que o projeto está adiantado em relação ao previsto. A equação 4 mostra o cálculo do SPI.

$$SPI = BCWP/BCWS \quad (4)$$

Estimated at Completion (EAC): é a estimativa de conclusão, que representa uma estimativa para o custo final do Projeto, caso se mantenha o desempenho de prazos e custos, evidenciados na data de estado em que é efetuada tal previsão. Esta estimativa permite detectar e quantificar os desvios face ao que foi planejado e alertar a necessidade de tomar medidas corretivas. A equação 5 mostra o cálculo determinístico do EAC.

$$EAC = ACWP + (BAC - BCWP)/CPI \quad (5)$$

Afirmava-se que o indicador de performance de custos (CPI) obtido pelo EVM se estabiliza quando o projeto atinge 20% de progresso, o que significa que a variação não ultrapassa em 10% do valor do indicador. Isso permite a obtenção de um custo final projetado, obtido através do CPI, que não varia muito, ao longo do projeto. No entanto, com o passar do tempo, percebeu-se que essas regras são válidas para projetos muito grandes, enquanto que nos menores a estimativa dos custos finais a partir do CPI, que não se estabiliza, revela apenas o valor mais baixo esperado (LIPKE et al, 2009). Isso simboliza uma oportunidade para a aplicação do EVM com a simulação Monte Carlo em projetos menores de modo a obter valores mais realistas na projeção dos custos finais.

O esforço em se refinar tais estimativas, introduzindo Monte Carlo, é justificado porque prever os custos finais está no cerne do EVM. Um bom início é trabalhar com o pior e o melhor valor possível para uma faixa de custos finais. Se, com 15% do projeto concluído, o valor estimado estiver acima do projetado, explicações tem que ser dadas, com o objetivo de se identificar os motivos dos desvios para que o projeto de fato não apresente custos maiores em sua conclusão. Com o correto uso de Monte Carlo, almeja-se obter um intervalo mais confiável de previsões de forma a se ter um controle mais efetivo sobre os supracitados desvios.

3 Metodologia

Nesta seção são definidos os aspectos metodológicos da pesquisa, bem como a forma de coleta de dados, o modelo de simulação construído e o conceito de uma simulação Monte Carlo.

3.1 Especificação da pesquisa

Neste estudo, deseja-se implementar o EVM com simulação Monte Carlo. Assim, do ponto de vista da natureza, a pesquisa será aplicada, pois lida com interesses locais na busca de produzir conhecimentos para aplicação prática, dirigidos à solução de problemas específicos, além de gerar conhecimento sobre um assunto específico e definido anteriormente (CERVO; BERVIAN, 1983).

Para atender aos objetivos deste trabalho, será utilizada predominantemente uma abordagem quantitativa, uma vez que a contribuição do estudo é aplicar o EVM com a simulação de Monte Carlo para conseguir prever, mês a mês, com dado intervalo de confiança, qual será o provável custo final de um projeto. No entanto, deseja-se realizar uma abordagem qualitativa, secundária, para analisar os fatores que influíram na variação dessas previsões mensais e observar as particularidades de cada um dos projetos em que a técnica será aplicada.

Em relação ao procedimento técnico, foi selecionada a pesquisa-ação como a mais adequada para este estudo, já que o objetivo do presente trabalho é a aplicação do EVM e sua análise. Isso coincide com o propósito de uma pesquisa-ação, cuja função é identificar uma estratégia de ação planejada que será implementada e sistematicamente submetê-la a observação, reflexão e mudança (GRUNDY; KEMMIS, 1982).

3.2 Coleta de dados

O modelo do EVM com a simulação de Monte Carlo será aplicado em dois projetos de engenharia de detalhamento. Por motivos contratuais, tanto o proprietário quanto a localização dos empreendimentos serão omitidos. Pode-se dizer que o projeto A inclui em seu escopo serviços de engenharia, gerenciamento de suprimentos, de planejamento e das atividades de obra para a implantação de cogeração. O projeto B tem como escopo os mesmos serviços, mas se trata da implantação da segunda fase de cogeração.

Os serviços de engenharia são separados de acordo com especialidades na empresa prestadora desses serviços, onde o estudo de EVM será realizado. Sucintamente, a área de Processos é responsável pela definição de balanços de massa e energia, bem como todos os processos necessários para a produção de energia, nesse caso. A área de Mecânica define os equipamentos necessários, enquanto que a área de Civil é responsável pela sustentação desses equipamentos e por estudos de hidráulica e arquitetura. A área de Elétrica projeta a rede elétrica para abastecer os equipamentos enquanto que os instrumentos são de responsabilidade da área de Instrumentação, que projeta o sistema de automação da planta. A área de Tubulação interliga por meio de tubos os processos conforme especificado. São essas seis áreas que são monitoradas através do EVM e compõem o custo do projeto de detalhamento.

A pesquisa-ação que será utilizada teve início com algumas entrevistas não estruturadas com supervisores das áreas de planejamento da empresa prestadora dos serviços de engenharia. Esse processo, não formalizado, serviu para identificar a necessidade de se estruturar melhor a ferramenta do EVM e definir quais custos ou horas deveriam ser de fato considerados na linha de base e nas medições para apuração do EVM. Definuiu-se que serão utilizados apenas os custos salariais de funcionários e terceiros.

Em seguida, procedeu-se com a modelagem do EVM em planilhas eletrônicas, resultando em uma análise agregada de custos e horas, como uma adição à ferramenta, além de outros ajustes aos projetos nos quais será aplicada.

Validado o novo modelo de EVM, partiu-se para a segunda parte da modelagem, que inclui a elaboração da simulação Monte Carlo em si. Para isso, parte-se dos dados da planilha do EVM puro, a partir da qual é possível gerar a previsão dos custos. Os dados da simulação

podem, então, ser adicionados aos relatórios gerenciais de produtividade, em conjunto com os dados do EVM propriamente ditos. Para geração dos relatórios e análise da modelagem realizada, a saídas do modelo são avaliadas qualitativamente em conjunto com os supervisores das seis áreas, considerando o andamento do projeto.

3.3 O modelo de simulação

Para as projeções de custo, o modelo proposto por Vargas (2004) sugere a adoção de três índices, os quais compõem as distribuições de probabilidade do tipo triangular determinadas para cada pacote de trabalho (nesse caso, as seis áreas) cujos custos se somam ao total do projeto.

A visão otimista considera que a melhor CPI pode ser igual a 1, ou seja, o restante do trabalho será feito conforme o planejado. Logo, a estimativa do término seria dada pela soma dos custos já incorridos com o trabalho a ser feito considerando tal CPI, conforme a equação 6 abaixo:

$$EAC = ACWP + (BAC - BCWP)/1 \quad (6)$$

A visão mais provável considera o CPI histórico de fato incorrido durante o projeto, em cada atividade, ou seja, preconiza que os custos finais seguirão a mesma tendência, conforme a equação 7 abaixo:

$$EAC = ACWP + (BAC - BCWP)/CPI \quad (7)$$

A visão pessimista considera que o trabalho a ser feito seguirá a tendência combinada do CPI com SPI, simbolizando o esforço em se recuperar o tempo perdido. Em caso de projetos atrasados, geralmente os dois índices estarão inferiores a 1, resultando em um EAC maior. A equação 8 abaixo mostra a visão pessimista:

$$EAC = ACWP + (BAC - BCWP)/(CPI \times SPI) \quad (8)$$

Na prática, no entanto, verificou-se que o CPI e o SPI nem sempre são inferiores a 1. Para isso, o modelo aplicado utilizará ainda distribuições triangulares, mas partirá de equações ligeiramente diferentes para determinar essas funções de distribuição de probabilidade.

Na empresa prestadora dos serviços de engenharia, considera-se praticamente inaceitável um CPI de 0,7, já que um valor abaixo deste pode evidenciar mais do que improdutividade apenas, sendo reflexo possivelmente de falhas de medição ou desvios no planejamento.

Portanto, a visão pessimista passa a adotar essa produtividade como pior caso para o trabalho restante, conforme a equação 9 abaixo:

$$EAC = ACWP + (BAC - BCWP)/0,7 \quad (9)$$

A visão mais provável é mantida considerando que o CPI se repetirá até o fim do projeto, conforme a equação 7 já exibida anteriormente. A visão otimista, no entanto, considerará que o trabalho projetado poderá ser feito com economia de recursos, ou seja, com um desempenho superior ao fixado na linha de base. De forma análoga, o CPI utilizado será 1,3, conforme a fórmula 10 abaixo. Um valor real acima de 1,3 pode evidenciar falhas de medição ou desvios no planejamento.

$$EAC = ACWP + (BAC - BCWP)/1,3 \quad (10)$$

Com essas equações e os conceitos do EVM, foram preparadas as tabelas 1, 2 e 3, para cálculos referentes ao mês 7 do projeto A:

Tabela 1 – Dados do EVM para o sétimo mês do projeto A

Mês 7					
Nome	% Completo	BAC	BCWS	BCWP	ACWP
Eng Total	95,84%	2.093.519,56	1.996.122,04	2.006.336,75	2.022.825,51
Processo	99,12%	88.561,57	82.893,85	87.785,41	80.751,24
Civil	89,63%	724.566,17	746.346,17	649.415,11	817.701,51
Tubulação	91,44%	588.184,28	499.248,79	537.844,47	545.375,95
Mecânica	74,95%	297.152,77	284.455,31	222.726,66	243.390,48
Instrum.	92,03%	193.027,27	185.072,38	177.635,33	142.953,16
Elétrica	82,89%	202.027,42	198.105,53	167.466,62	192.653,18

Fonte: o autor

Tabela 2 – Indicadores do EVM para o sétimo mês do projeto A

Mês 7				
Nome	CV	SV	CPI	SPI
Eng Total	(16.488,76)	10.214,71	0,992	1,005
Processo	7.034,17	4.891,56	1,087	1,059
Civil	(168.286,40)	(96.931,06)	0,794	0,870
Tubulação	(7.531,48)	38.595,68	0,986	1,077
Mecânica	(20.663,82)	(61.728,66)	0,915	0,783
Instrum.	34.682,17	(7.437,06)	1,243	0,960
Elétrica	(25.186,56)	(30.638,92)	0,869	0,845

Fonte: o autor

Tabela 3 – Parâmetros das distribuições triangulares de cada área do projeto A no sétimo mês

Mês 7				
Nome	EAC Otim.	EAC Prov.	EAC Pessim.	Distribuições
Eng Total				=Output
Processo	81.348,28	81.465,20	81.860,04	=triang(EAC Otim.; EAC Prov.; EAC Pessim.)
Civil	875.510,02	912.326,86	925.060,17	=triang(EAC Otim.; EAC Prov.; EAC Pessim.)
Tubulação	584.098,88	596.420,68	617.289,97	=triang(EAC Otim.; EAC Prov.; EAC Pessim.)
Mecânica	300.641,34	324.721,60	349.713,50	=triang(EAC Otim.; EAC Prov.; EAC Pessim.)
Instrum.	154.793,12	155.339,93	164.941,66	=triang(EAC Otim.; EAC Prov.; EAC Pessim.)
Elétrica	219.238,40	232.411,83	242.025,74	=triang(EAC Otim.; EAC Prov.; EAC Pessim.)

Fonte: o autor

Os custos finais do projeto (EAC) serão, portanto, simulados como uma soma em função das distribuições triangulares de probabilidades das seis especialidades do projeto, especificadas conforme as equações apresentadas.

3.4 Simulação Monte Carlo

Simulação é o termo que designa qualquer método analítico destinado a imitar um sistema real, em especial quando outros métodos de análise são matematicamente muito complexos ou muito difíceis de reproduzir. Sem a ajuda da simulação, uma planilha revela apenas uma simples saída, geralmente a mais provável, ou um cenário médio. Esta é a grande causa de divergências entre valores orçados (ou previstos) e os reais, quando certas variáveis ambientais não são consideradas. A Simulação de Monte Carlo gera, randomicamente, valores para estas variáveis incertas centenas ou milhares de vezes, de modo a simular um modelo (CARDOSO; AMARAL, 2000). No modelo anteriormente proposto, os dados de entrada são

as funções triangulares das seis áreas de engenharia.

A simulação refere-se a um método no qual uma distribuição de possíveis resultados é produzida por sucessivos recálculos dos dados do projeto, construindo múltiplos cenários. Em cada um desses cálculos, novos dados aleatórios são usados alimentando um repetitivo e iterativo processo. A combinação dos vários resultados cria uma distribuição de probabilidades dos resultados (VARGAS, 2004). No modelo proposto, objetiva-se obter a distribuição dos custos finais da engenharia de detalhamento.

O uso da simulação de Monte Carlo proporciona a grande vantagem de que podem ser consideradas todas as combinações possíveis com milhares cenários, gerando uma distribuição de probabilidade dos resultados (CARDOSO; AMARAL, 2000). Para um grande número de repetições, o modelo tende a refletir com maior verossimilhança as características da distribuição original, transformando o resultado da simulação em algo plausível para análise. A simulação pode ser aplicada em cronogramas, custos ou outros indicadores e possui a vantagem de gerar um resultado satisfatório com um modelo simplificado e, portanto, menos complexo que a realidade, sendo esse o grande benefício das simulações em geral, que poupam o custo de se atuar sobre a realidade (VARGAS, 2004).

No entanto, a função da simulação é gerar distribuições de probabilidades para as variáveis de saída baseadas em relações matemáticas pré estabelecidas, e apenas isso. Agregadas aos métodos de simulação devem estar outras técnicas para avaliar as distribuições geradas. Sem tal avaliação e sem a tomada de decisão, para a transposição dos dados à realidade, a simulação pode não trazer os benefícios esperados (JANÉ, 2003).

4 Análise dos resultados

Para cada mês e para cada projeto foram gerados os três quadros conforme as tabelas 1, 2 e 3 já exibidas, que mostram o resultado para o sétimo mês de andamento do projeto A. A figura 1 abaixo mostra a distribuição triangular atribuída à área de Processos no sétimo mês do projeto A:

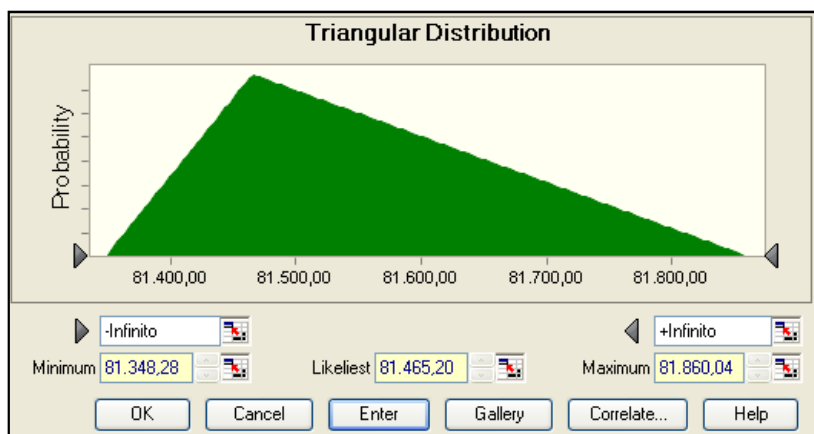


Figura 1 – Distribuição triangular dos custos da área de Processos

Nota-se que o valor mais provável, de probabilidade maior, não está no centro em relação à base. Isso se deve ao fato do CPI estar mais próximo de 1,3 que de 0,7, sugerindo que, mantido tal índice, o custo final do projeto será menor que o previsto na área de Processos.

Feito este procedimento para todas as áreas dos dois projetos, em todos os meses,

pôde-se simular o custo final do projeto estipulando um número de rodadas de 1000, com parada quando o nível de confiança atinge 95%.

Para o sétimo mês do projeto A, obteve-se o resultado da figura 2, seguinte:

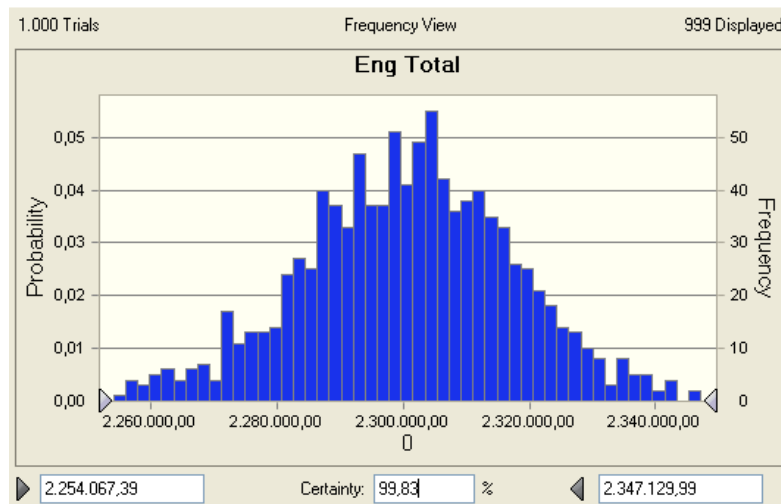


Figura 2 – Distribuição dos custos finais do projeto

A figura 2 mostra que, para um intervalo de 99,83% de precisão, os custos finais do projeto estarão entre R\$ 2.254.067,39 e R\$ 2.347.129,99, ou seja, entre valores 107,7% e 112,1% do BAC inicial.

Essas simulações foram executadas para todos os meses dos projetos A e B, gerando o sumário das tabelas 4 e 5, a seguir:

Tabela 4 – Simulações mensais dos custos finais do projeto A

Projeto A	Mês 3	Mês 4	Mês 5	Mês 6	Mês 7
Custo Final - Início Intervalo	1.705.800,28	1.785.851,14	1.970.573,56	2.280.247,86	2.268.708,69
Custo Final - Fim Intervalo	2.086.889,64	2.038.498,68	2.143.178,65	2.927.105,33	2.332.964,37
Intervalo Confiança	95,0%	95,0%	95,0%	95,0%	95,0%
Probab. BAC ou menor	98,2%	99,8%	83,2%	0,0%	0,0%

Tabela 5 – Simulações mensais dos custos finais do projeto B

Projeto B	Mês 3	Mês 4	Mês 5	Mês 6
Custo Final - Início Intervalo	555.420,01	585.858,31	576.306,48	602.524,65
Custo Final - Fim Intervalo	852.705,70	891.912,16	748.815,33	655.834,74
Intervalo Confiança	95,0%	95,0%	95,0%	95,0%
Probab. Previsão	47,6%	27,3%	76,9%	100,0%

Para as simulações foram excluídos os meses 1 e 2 de cada projeto devido ao fato de que, nesses meses, houve avanço sem acúmulo de custos, pois os mesmos foram alocados para o projeto básico, ou seja, alguns documentos gerados pelas áreas de engenharia durante o projeto básico foram utilizados no projeto de detalhamento, gerando um ganho que refletiu em valores de CPI que tendiam a infinito. Mesmo com essa exclusão, tais índices se mantiveram elevados uma vez que são acumulados para os meses seguintes. Assim, foi necessário alterar as equações 9 e 10 que passaram a ter os fatores de 1,3 e 0,7 multiplicando o CPI dependendo de qual valor o índice excedia. Isso alterou sensivelmente as distribuições,

mas os resultados das simulações não oscilaram anormalmente.

Além disso, o projeto B pôde ter alguns documentos reaproveitados de sua fase 1, além de sinergias ou alocações de custos incorretas, já que a mesma equipe trabalha em ambos os projetos, que beneficiaram o projeto B, de início posterior, inclusive.

Outra análise interessante é a diminuição dos intervalos com o passar dos meses, mostrando tanto que o CPI foi se estabilizando, conforme apontado por Lipke et al (2009) como o fato da ferramenta progressivamente afinar as previsões. Essa afirmação é possível visto a comparação do ACWP frente ao BAC e o progresso atual (ou o BCWP) do projeto A no mês 7, conforme a tabela 1. É possível identificar que o projeto excederá o BAC, mas a ferramenta mostra o intervalo que isso em que isso pode acontecer.

A ferramenta também mostrou uma piora progressiva do quadro do projeto A em relação aos custos finais e uma melhora do projeto B através do aumento dos valores do fim do intervalo de custos do projeto A e de sua diminuição no projeto B, como mostra a segunda linha das tabelas 4 e 5.

Desse modo, apesar das dificuldades de implementação do EVM com a simulação Monte Carlo por conta da árdua tarefa de se separar o projeto básico do projeto de detalhamento, além de outras fases concomitantes, como assistência à obra, por exemplo, que não previstas no progresso físico, a integração das ferramentas conseguiu produzir um resultado melhor do que alguns cenários simulados a partir do CPI ao mostrar a tendência dos custos considerando todas as possibilidades do CPI.

Nesse caso específico, provou-se a importância de alinhar a *Cost Breakdown Structure* e a *Work Breakdown Structure* no início do projeto, pois isso teria impedido os altos CPIs que comprometeram um pouco os números das simulações.

5 Considerações finais

Com a crescente necessidade das empresas em realizar tarefas não repetitivas, também evoluíram os conceitos relacionados à gestão de projetos. Dentro desse contexto, uma das ferramentas que tem ganhado aceitação com o aumento da percepção de suas utilidades e a redução dos problemas enfrentados em sua implementação é o *Earned Value Management*, que tem por mérito integrar o controle de escopo, prazo e custos do projeto.

Vargas (2004) propõe a combinação do EVM com a simulação de Monte Carlo para que seja possível prever os custos finais de um projeto de forma probabilística ao invés de determinística, como preconizado pelo CPI. A vantagem da integração de Monte Carlo ao EVM reside no fato de que tal simulação trabalha com número randomizados, produzindo, dessa forma, múltiplos cenários possíveis no cálculo dos custos.

Desse modo, o objetivo deste trabalho foi integrar e aplicar o EVM com a simulação de Monte Carlo para prever os custos finais de dois projetos de engenharia de detalhamento.

Com a construção das planilhas do EVM e o modelo de simulação, foram geradas previsões mensais dos custos na conclusão dos projetos. Além disso, foi possível analisar a tendência dessas previsões, bem como avaliar a probabilidade de ocorrência de um valor igual ou menor ao orçamento (BAC).

Mesmo com alguns valores de CPI irreais, ou seja, valores muito acima de 1, é possível notar que a ferramenta gerou previsões condizentes com o andamento dos projetos, mostrando inclusive certa compensação entre os mesmos.

Para futuros trabalhos, sugere-se uma aplicação com uma melhor distinção entre o projeto básico e o de detalhamento, bem como a comparação de projetos com equipes diferentes, para melhor comprovar a utilidade do EVM integrado à simulação de Monte Carlo. Em termos de integração, pode-se verificar a interação do modelo utilizado neste trabalho

com o EVM convertido em tempo, como proposto por Lipke (2009) através do *Earned Schedule*, a interação com a gestão de riscos, conforme sugerido por Hillson (2004) ou, ainda, analisar como os atrasos assumidos no projeto afetam as simulações.

Referências

ANBARI, F. T. *Earned Value Project Management method and extensions*. **Project Management Journal**, v. 34, n. 4, p. 12-23, 2003.

BAENA, W. C. Qual o Preço de Venda de um projeto? **E-News PMI**. São Paulo, fev. 2010. Disponível em: < http://www.pmis.org.br/enews/edicao1002/artigo_01.asp >. Acesso em: 13 mai. 2011.

CARDOSO, D.; AMARAL, H. F. O uso da simulação de Monte Carlo na elaboração do fluxo de caixa empresarial: uma proposta para quantificação das incertezas ambientais. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 20, 2000, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ABEPRO, 2000.

CERVO, A. I.; BERVIAN, P. A. **Metodologia científica**: para uso dos estudantes universitários. 3. ed. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1983.

FLEMING, Q. W.; KOPPELMAN, J. M. **Earned Value Project Management**. 2. ed. Newton Square, Philadelphia: Project Management Institute, 2000.

GIACOMETTI et al. Aplicação do *earned value* em projetos complexos – um estudo de caso na EMBRAER. **Gestão & Produção**, São Carlos, v. 14, n. 3, p. 595-607, 2007.

GRUNDY, S. J.; KEMMIS, S. **Educational action research in Australia: the state of the art**. Geelong: Deakin University Press, 1982.

HENRIQUES, A. P. **Metodologia de gestão integrada de prazos e custos**: aplicação da metodologia *Earned Value Management*. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, 2008.

HEYWORTH, F. **A guide to project management**. Graz: Council of Europe Publishing, 2002. Disponível em: < <http://archive.ecml.at/documents/pub141E2002.pdf> >. Acesso em: 15 mai. 2011.

HILLSON, D. Earned Value Management and Risk Management: a practical synergy. In: *PMI Global Congress Proceedings*, 2004. **Anais...** Anaheim, California: PMI, 2004.

JANÉ, D. A., **A simulação de Monte Carlo e a lógica Fuzzy na análise econômico/financeira de investimentos sob condições de risco**. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Universidade Federal de Engenharia de Itajubá, 2003.

KERZNER, H. **Gestão de Projetos**: as melhores práticas. 2. ed. São Paulo: Bookman, 2006.

KIM et al. *A model for effective implementation of Earned Value Management methodology. International Journal of Project Management*, v. 21, p.375-382, 2003.

LIPKE et al. *Prediction of project outcome: the application of statistical methods to earned value management and earned schedule performance indexes. International Journal of Project Management*, v. 27, p. 400–407, 2009.

MEREDITH, J. R.; MANTEL, S. J. **Project Management: a managerial approach**. New York: Ed. Wiley, 2002.

NAVON, R. *Automated project performance control of construction projects. Journal of Automation in Construction*, v. 14, n. 4, p. 467-476, 2005.

OLIVEIRA, R. C. F. **Gerenciamento de projetos e a aplicação da análise de Earned Value em grandes projetos**. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia Naval) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE (PMI). **Conjunto de conhecimentos em gerenciamento de projetos (PMBOK)**. 4. ed. Newtown Square PA: Project Management Institute Inc, 2008.

RABY, M. *Project management via earned value. MCB University Press*, v.49, n. 1, p. 6-9, 2000.

ROVAI, R. L.; TOLEDO, N. N. Avaliação de performance de projetos através do *Earned Value Management System*. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 22, 2002, Curitiba. **Anais...** Curitiba: ABEPRO, 2002. CD-ROM.

SLACK et al. **Administração da produção**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2007.

VARGAS, R. V. *Earned value probabilistic forecasting using Monte Carlo simulation. In: TRANSACTIONS OF THE ASSOCIATION FOR THE ADVANCEMENT OF COST ENGINEERING*, 2004. **Anais...** [S.l.]: AACE, 2004.

VARGAS, R. V. **Gerenciamento de projetos com o MS Project 98**. Rio de Janeiro: Brasport, 1998.