

PROPOSTA DE INCORPORAÇÃO DA INCERTEZA NO CÁLCULO DO *EARNED VALUE* POR MEIO DA SIMULAÇÃO DE MONTE CARLO

Henrique Andrade Godoy (henriqueagodoy@yahoo.com.br) – Universidade Federal de Itajubá

Carlos Eduardo Sanches da Silva (cadusanches@uol.com.br) – Universidade Federal de Itajubá

Helena Pinto Vilela (helenavilela@hotmail.com) – Universidade Federal de Itajubá

Letícia Fernandes Costa (leticiaferc@gmail.com) – Universidade Federal de Itajubá

Resumo

Este trabalho tem como objetivo propor a incorporação da incerteza no cálculo do Earned Value, já que seus indicadores para controle de variáveis e alcance de metas pré-estabelecidas resultam de operações envolvendo variáveis de custo e prazo e, portanto, é de se esperar que seus resultados herdem seus desvios - o que pode tornar a precisão dessa ferramenta, em alguns casos, inadequada. Adotando o método de pesquisa-ação, utilizou-se a simulação pelo método de Monte Carlo para os cálculos necessários. O efeito da consideração ou supressão das relações de dependência estatística entre as variáveis também foi investigado. Os resultados e análises feitas pelo gerente do projeto indicaram que a sistemática proposta se mostrou adequada e útil para o monitoramento e controle dos custos e dos prazos do projeto estudado.

Palavras-chave: *Earned Value*, Incerteza, Simulação de Monte Carlo, Gerenciamento de Projetos.

Área: Métodos e Técnicas para GDP e Criatividade

1. INTRODUÇÃO

Como grande parte dos trabalhos hoje em dia é desenvolvida através de projetos, adquirir maior eficiência nisso irá, provavelmente, permitir que a organização encare com menores dificuldades diversos desafios estratégicos e operacionais que possam entrar no seu caminho (LONGMAN & MULLINS, 2004). Aumentar as chances de sucesso, tendo em mente o impacto citado dos riscos e incertezas, gera a oportunidade e necessidade de se aprimorar as ferramentas e sistemas hoje existentes de suporte ao desenvolvimento dos projetos, procurando criar meios de tornar a questão das incertezas mais claras aos gerentes e, conseqüentemente, mais controláveis (CHENG & ROY, 2010). Neste contexto o *Earned Value Management* (EVM) é considerado uma ferramenta útil para monitoramento dos custos e tempo de projetos (PEETERS & MADAUSS, 2008). Bower & Finegan (2009), que chamam a atenção para o fato de que a qualidade e precisão das informações fornecidas pelo EVM são diretamente proporcionais à precisão dos dados em que elas se baseiam. Esta pesquisa busca assim, integrar a análise de riscos com processos das áreas de gerenciamento de custos e tempo, analisando o impacto das incertezas sobre as estimativas de custos e prazos, para posteriormente buscar um meio de se melhorar a qualidade da informação fornecida pelo EVM, incorporando estas incertezas no seu cálculo.

2. INCERTEZAS AFETANDO OS PRAZOS E OS CUSTOS

Segundo Bashir & Thomson (1999), técnicas de cronograma que se baseiam em algum tipo de *Work Breakdown Structure* (WBS) apresentam incertezas maiores conforme aumenta a complexidade do projeto. Como a estimativa do erro total é igual à soma dos erros de cada atividade, é de se esperar que a incerteza seja maior quanto mais atividade houver. Collyer & Warren (2009) e Azaron, Perkgoz & Sakawa (2005) lembram, ainda, que a natureza dinâmica dos projetos também é causa de problemas no seu decorrer, já que valores inicialmente determinados para duração das atividades podem sofrer alteração.

Devido ao grande impacto que causam, muito se tem discutido no que se refere especificamente às incertezas do processo de estimativa dos prazos. Para a realização de tais estimativas alguns métodos que podem ser utilizados são: estatísticos, gerando distribuições de probabilidades (ZHU, BARD & YU, 2007); baseando-se em experiências e dados do passado, levando em consideração tendências de riscos e os acontecimentos típicos (AHUJA & THIRUVENGADAM, 2004); ou, ainda, através da opinião de especialistas (ZHU, BARD & YU, 2007).

Estimativas de custos se fazem necessárias nos estágios iniciais de todo tipo de projeto, pois tomadas de decisão e estudos de viabilidade econômica são baseados no orçamento, o qual resulta desse levantamento (LI, SHEN & LOVE, 2005). Ao se realizar este estudo,

pode-se basear em uma lista com as quantidades de recursos necessários previamente levantados (ENSHASSI, MOHAMED & MADI, 2005), na experiência dos especialistas responsáveis (CHOU, 2009b; KIM et al. 2004; AN, KIM & KANG, 2007), por analogia com projetos semelhantes já desenvolvidos (SHEPPERD & SCHOFIELD, 1997), em dados históricos (CHOU & O'CONNOR, 2007; MOON, KIM & KWON, 2007; KIM et al. (2004) ou mesmo informações proporcionadas por *Computer Aided Design* (CAD) (MOHAMED & CELIK, 2002).

Apesar de tal importância, diversas fontes que podem levar a estimativas imprecisas podem ser identificadas. A escassez de informações disponíveis é frequentemente um desses problemas (CHENG, TSAI & SUDJONO, 2010). Enshassi, Mohamed & Madi (2005) identificam outros fatores que podem afetar essa precisão: complexidade do projeto, informações que se dispõem, requisitos tecnológicos, condições de contrato, a eficiência do contratante, requisitos de mercado e a duração do projeto. Diferentes maneiras de se lidar com as incertezas das estimativas de custos de cada atividade para considerá-los no orçamento final podem ser identificados. Propostas como as abordadas por Moon, Kim & Kwon (2007), porém, só podem ser empregadas quando se dispõe de dados históricos. Quando não há valores que se possa utilizar para efetuar cálculos, a simulação pode ser uma alternativa.

A Simulação pelo método de Monte Carlo (SMC) se destina a resolver problemas utilizando variáveis aleatórias. Os algoritmos baseados neste método fornecem estimativas estatísticas para um dado parâmetro da solução por meio da realização de amostragem aleatória de uma determinada variável, cuja expectativa é a matemática funcional desejada (ATANASSOV & DIMOV, 2008).

A sistemática que se propõe no presente trabalho combina características de ambos os trabalhos anteriormente citados. Motiva-se pela necessidade de um tratamento estocástico das variáveis custo e prazo, a fim de que se obtenham os indicadores do *Earned Value Management* em forma de distribuições de possibilidades. Como alternativa à inaplicabilidade de equações matemáticas, que demandam conjuntos de dados pré-levantados, recorre-se à simulação de Monte Carlo.

3. ESTRATÉGIA METODOLÓGICA – PESQUISA-AÇÃO

3.1. Planejamento da pesquisa

Para a condução desta pesquisa, servirá como guia o ciclo de pesquisa-ação proposto por Coughlan & Coughlan (2002). Tal ciclo consiste de três fases principais, listadas e descritas a seguir: 1ª – Fase preliminar: se ocupa em alinhar os entendimentos de pesquisadores e gestores quanto às necessidades econômicas, técnicas, sociais ou políticas do assunto

abordado, de forma que estejam em sintonia e todos trabalhando para um propósito comum; 2ª – Fase: consiste de seis passos: coleta, *feedback* e análise dos dados; planejamento de ação; implementação; e avaliação; e 3ª – Meta fase: consiste em monitorar os passos da fase anterior, verificando em que as atividades realizadas estão incorrendo, de que forma elas estão sendo realizadas e quais os pressupostos se mantêm operacionais.

No presente estudo, foram executados três ciclos (quadro 1). Estes correspondem à atividade de monitoramento e controle dos custos e do tempo do projeto objeto de estudo, que é efetuada bimestralmente, sempre no último dia útil do segundo mês do ciclo.

Quadro 1 - Propósitos e detalhamento dos ciclos desta pesquisa-ação

Propósitos	1º Ciclo	2º Ciclo	3º Ciclo
Proposta de incorporação da incerteza no cálculo do EV	Realizar um diagnóstico e propor os métodos de coleta e representação dos dados e de cálculo	Implementar o método de cálculo do EV, bem como de seus índices, incorporando suas incertezas	Verificar a situação do projeto frente às metas iniciais nas suas etapas finais
Implementação de um método de cálculo que pudesse fornecer o EV na forma de média e variância	Conduzir a sistemática proposta para o primeiro bimestre do projeto, ficando esse ciclo como um projeto piloto	Reproduzir o procedimento de tratamento dos dados e cálculo dos indicadores no final de cada bimestre subsequente	Adotar o método de cálculo para monitoramento dos custos e tempo de projetos

Fonte: Elaboração própria

3.2. Contexto e propósito

A fim de se melhorar os resultados obtidos com o uso do EV, propõe-se que este seja calculado através de meios estatísticos, de forma que se possa obter seu resultado na forma de uma média com a respectiva variância. Os responsáveis pela condução do projeto passam a conhecer a margem de incerteza, os dados contribuem para previsões e decisões. Ações corretivas mais adequadas podem ser tomadas e em tempo hábil, aumentando as chances de que o projeto seja concluído dentro das metas de custo e tempo. A proposta desta pesquisa abrange, assim, o cálculo do EV e destes indicadores.

3.3. Objeto de estudo e unidade de análise

O objeto de estudo é uma Empresa de Base Tecnológica (EBT) pertencente a um programa

de incubação, que tem como atividades o desenvolvimento, produção e comercialização de equipamentos eletromédicos. A unidade de análise é o projeto de adequação do Sistema de Gestão pela Qualidade de tal empresa aos requisitos da norma ISO 9001. A escolha deste empreendimento se deve ao fato de ele ter esse projeto aprovado por um programa do governo federal, aceite do sócio diretor e acesso aos dados.

3.4. Coleta dos dados

Os custos e prazos estimados foram levantados durante entrevistas com o gerente da empresa (embasamento na experiência do gestor) e com o consultor (experiência em casos históricos). Obteve-se, nessa etapa, um cronograma que apresenta, para cada atividade, três possíveis prazos de duração: otimista, realista ou mais provável e pessimista. Analogamente, obtiveram-se três valores para os custos das atividades.

Para representar essas estimativas, procuraram-se as distribuições mais adequadas. Distribuições simples, como a beta ou a triangular, se mostram de fácil aplicação e permitem uma avaliação direta, exigindo, apenas, as estimativas dos três pontos, o que deve estar dentro das capacidades e experiência de qualquer planejador (DAWSON & DAWSON, 1998). Entendendo como válida esta explicação, na sistemática que se está propondo neste trabalho os prazos e os custos estimados para cada atividade são representados por distribuições triangulares (figura 1 e figura 2).

Figura 1 – Cronograma para atividade 19

Mês		Janeiro														Fevereiro																							
Dia da Semana		S	T	Q	Q	S	S	T	Q	Q	S	S	T	Q	Q	S	S	T	Q	Q	S	S	T	Q	Q	S	S	T	Q	Q	S	S	T	Q	Q	S			
Dia do Mês		4	5	6	7	8	11	12	13	14	15	18	19	20	21	22	25	26	27	28	29	1	2	3	4	5	8	9	10	11	12	17	18	19	22	23	24	25	26
Atividade																																							
19	Comunicar																																						
	(implantar																																						
	quadros)																																						

Fonte: Elaboração própria

Na figura 1, dentre as linhas coloridas, a mais clara indica o prazo otimista, a intermediária o realista ou mais provável, e a mais escura, o pessimista.

Figura 2 – Custos estimados da atividade 19

ATIVIDADE		MÊS DE REFERÊNCIA	ESTAGIÁRIO			DIRETOR			CONSULTORIA		
			Pes.	Mais prov.	Otim.	Pes.	Mais prov.	Otim.	Pes.	Mais prov.	Otim.
19	Comunicar (implantar quadros)	Janeiro	R\$ 21.00	R\$ 15.00	R\$ 6.00	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
		Fevereiro	R\$ 4.50	R\$ 3.00	R\$ 1.50	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -

Fonte: Elaboração própria

Os valores que representam a porcentagem da atividade concluída atribuídos às atividades parcialmente realizadas na data de controle foram obtidos por meio de consenso entre os envolvidos (consultor, diretor e estagiário).

4. CICLOS DE PESQUISA-AÇÃO

4.1. Primeiro ciclo da pesquisa ação

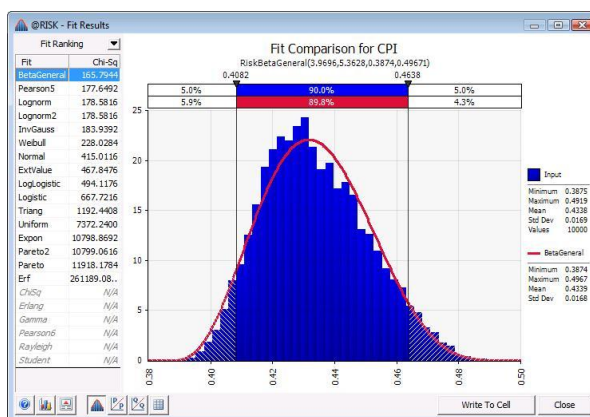
Com base no cronograma do projeto, verificou-se, no dia 29 de janeiro de 2010, que o projeto até aquele momento envolvia as atividades de 1 a 19, e também 42, 50, 51 e 65. Sendo assim, para a análise via *Earned Value Management* do projeto, foram calculados os custos orçados, os custos reais e o EV correspondentes a estas atividades, sendo considerados valores de custos correspondentes aos meses de dezembro e janeiro.

A fim de se obter um orçamento que seja calculado levando em consideração as incertezas identificadas, propõe-se, neste trabalho, realizar simulação pelo método de Monte Carlo. A partir das distribuições triangulares que representam os custos com suas incertezas, foram efetuadas 10000 iterações, sendo o custo total de cada atividade representado pela soma dos custos das horas gastas pelos três profissionais para sua execução. O software escolhido para isso foi o @Risk® (versão 5.5). Esse consiste em uma ferramenta ligada ao software Microsoft Excel® (Microsoft Corporation, Seattle, Washington) que permite o tratamento estocástico das variáveis por simulação de Monte Carlo.

Tendo em mãos as amostras de 10000 valores de cada índice, utilizou-se a ferramenta *Fit Distributions to Simulated Results* do software @Risk®, de forma a verificar qual o melhor ajuste entre os dados amostrais e as distribuições de possibilidade testadas. Com isso, é possível conhecer, também, os valores mínimos e máximos, as médias e os desvios-padrões das amostras e das distribuições encontradas (figura 3).

O teste realizado no software para verificar essa aderência foi o qui-quadrado (*Chi-Square Goodness of Fit Test*). Dentre as distribuições testadas, verificou-se, assim, que os dados de CPI mais se aproximam de uma distribuição BetaGeneral.

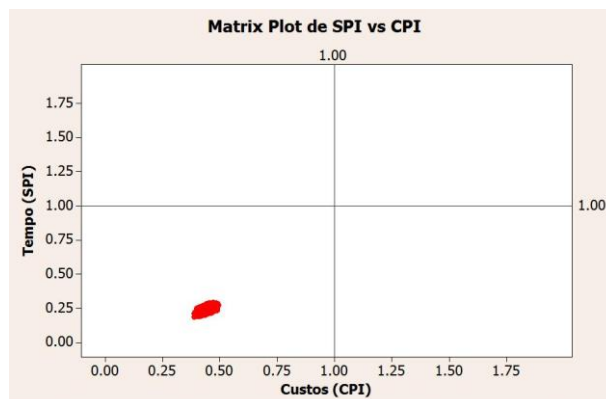
Figura 3 – Adequação dos dados amostrais de CPI de 1º ciclo a diferentes distribuições de possibilidade



Fonte: Elaboração própria

Para os valores simulados de SPI, o teste *Chi-Square* indicou que a distribuição, dentre as testadas, que mais se aproxima é a Lognormal. Para que fosse mais bem visualizado pelo gestor do projeto, foi elaborado, também, um gráfico do tipo *Matrix Plot* com os dados simulados (figura 4).

Figura 4 – *Matrix Plot* dos dados simulados de SPI e CPI 1º ciclo



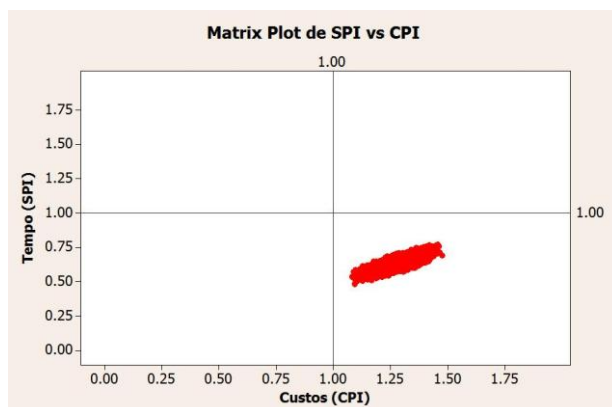
Fonte: Elaboração própria

Por meio desse gráfico, é possível verificar a região onde os indicadores do projeto se enquadram. Além de permitir visualizar o grau de dispersão dos dados, que é refletido pelos riscos considerados nos processos de estimativa de custo e tempo, permite fazer uma comparação entre a situação do projeto em termos financeiros com a situação em que ele se encontra quanto ao cumprimento do cronograma. Para o projeto em análise, o diretor da empresa, responsável por tal cronograma, sugere que o interesse maior está na verificação do seu cumprimento. Isso se justifica pelas exigências feitas pelos órgãos governamentais, que envolvem metas de tempo. Sobre a utilidade da sistemática proposta, o diretor sugere, ainda, a possibilidade de se monitorar o desempenho dos recursos humanos envolvidos nos trabalhos. Tendo verificado os valores encontrados de CPI e SPI, ele sugere que uma possível causa para o projeto se apresentar atrasado em relação às metas iniciais e com custos acima dos esperados pode estar relacionada com o desempenho dos funcionários envolvidos.

4.2. Segundo ciclo da pesquisa ação

O segundo ciclo da pesquisa-ação foi efetuado no dia 31 de março de 2010. De acordo com o cronograma do projeto, as atividades programadas para serem executadas total ou parcialmente até essa data eram as de número 1 a 30, de 33 a 40, 42, 50, 51 e entre 61 e 65. Todas as etapas de cálculo se deram de forma análoga aos realizados no 1º ciclo, porém, dessa vez, apenas no cenário em que a correlação é considerada. Dessa forma, obtiveram-se os seguintes resultados (valores médios das amostras de 10000 iterações). A figura 5 ilustra a posição dos valores simulados graficamente.

Figura 5 – *Matrix Plot* dos dados simulados de SPI e CPI 2º ciclo



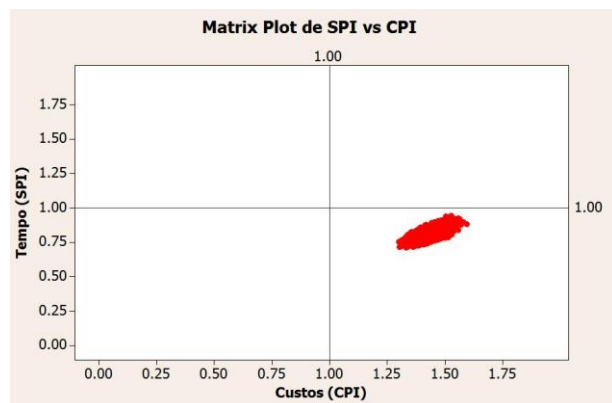
Fonte: Elaboração própria

Analisando esse gráfico, o gerente do projeto se disse satisfeito com a recuperação do indicador de custos levantado no ciclo anterior com relação a este. Estando as tendências quanto aos prazos, porém, ainda aquém das ideais, já que a meta estabelecida após o primeiro ciclo de pesquisa-ação era que toda a região estivesse dentro do quadrante ($SPI > 1.00; CPI > 1.00$), novas ações seriam tomadas visando melhorar esses resultados. Observa-se o aumento da região de incerteza no que diz respeito a ambas as variáveis. Isso pode ser explicado pela presença de um maior número de atividades com prazos de duração considerados longos.

4.3. Terceiro ciclo da pesquisa-ação

O terceiro ciclo da pesquisa-ação foi efetuado no dia 31 de maio de 2010. As atividades programadas até essa data, consideradas, assim, nos cálculos, são todas entre 1 e 73. Efetuando cálculos de forma análoga aos ciclos anteriores, obtiveram-se os seguintes resultados (valores médios das amostras de 10000 iterações). Os valores simulados de SPI e CPI podem ser visualizados na figura 6.

Figura 6 – *Matrix Plot* dos dados simulados de SPI e CPI 3º ciclo



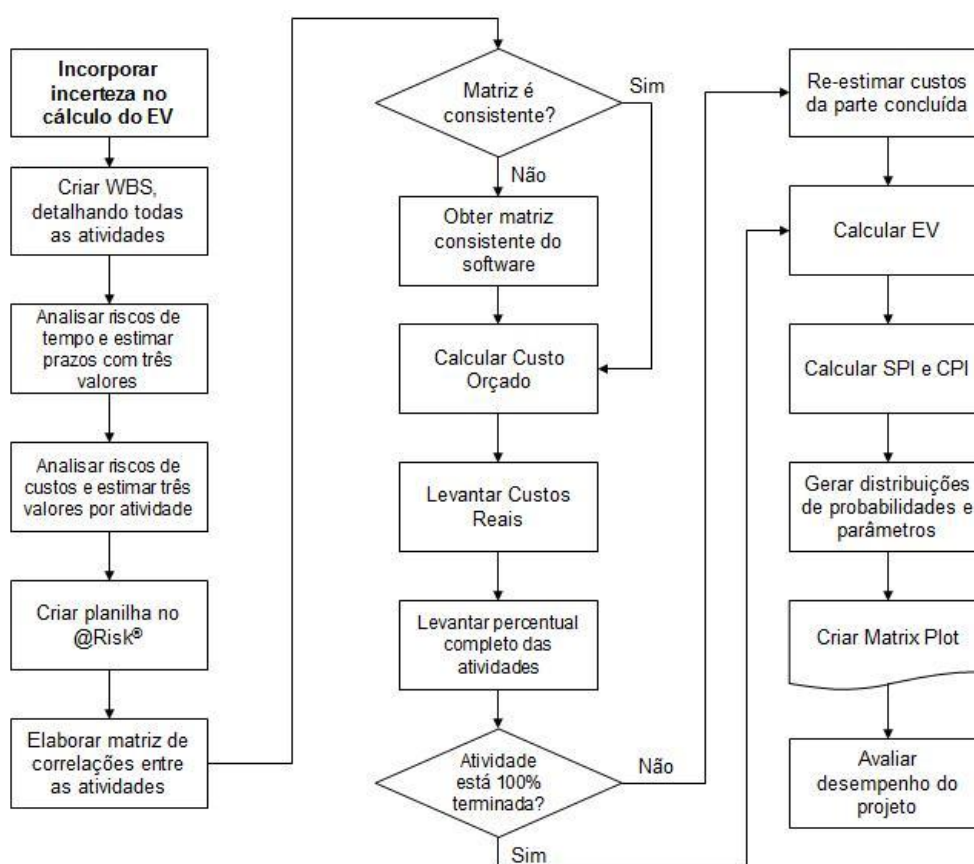
Fonte: Elaboração própria

Comparando os valores obtidos nesse ciclo com os do último, percebe-se que tanto o desempenho relacionado aos custos quanto aos prazos melhorou. Segundo o gerente do projeto, a melhora, principalmente do SPI - que era a prioridade desde o início do projeto e tinha se tornado foco de atenção ainda maior depois do resultado insatisfatório no 2º ciclo, se deve em grande parte às ações tomadas após as últimas medições.

4.4. Fluxograma da sistemática

Na figura 7 pode-se observar, na forma de um fluxograma, o funcionamento da sistemática proposta na pesquisa-ação.

Figura 7 – Fluxograma da sistemática proposta



Fonte: Elaboração própria

5. CONCLUSÕES

O objetivo deste trabalho é propor a incorporação da incerteza no cálculo do *Earned Value*, a fim de, por meio desta sistemática, monitorar e controlar os custos e os prazos do projeto estudado. Isso é factível, pois os indicadores para controle resultam de operações envolvendo custo e prazo e, portanto, é de se esperar que seus resultados herdem seus desvios - o que pode tornar a precisão dessa ferramenta, em alguns casos, inadequada. Os resultados e análises feitas pelo gerente do projeto indicaram que a sistemática proposta se

mostrou adequada e útil para o monitoramento e controle dos custos e dos prazos do projeto estudado, pois a partir de análises em cima de uma região, da qual se conhece limites, médias e demais parâmetros, podem ser tomados planos de ação mais adequados. Destaca-se a possibilidade de se verificar de que forma os dados de entrada (como a duração de prazo das atividades) afetam os resultados finais do projeto. Por meio das dispersões dos indicadores globais, o gestor pode agir individualmente em cada atividade, buscando controlar os riscos envolvidos e diminuir suas incertezas. Ademais, a adoção da sistemática em projetos deve se dar de acordo com as condições da empresa ou organização onde ele se desenvolverá. Condições de infraestrutura devem, também, ser observadas. A obtenção do software, por exemplo, é de vital importância. De forma geral, pode-se dizer que a implantação desse método, e consequente sucesso, dependem do suporte que a cultura organizacional irá propiciá-lo.

Para uma boa utilização do *Earned Value* é fundamental se ter o escopo do projeto muito bem definido, além do cronograma e dos custos no nível de detalhamento adequado. Desse modo, sua adoção contribuirá para os objetivos de controle de variáveis e alcance de metas pré-estabelecidas.

AGRADECIMENTOS

À empresa objeto de estudo pela oportunidade do desenvolvimento desta pesquisa e, em especial, aos entrevistados. À FAPEMIG, CAPES e CNPq pela disponibilização de recursos financeiros obtidos através dos projetos de fomento em desenvolvimento.

REFERÊNCIAS

- AHUJA, V., & THIRUVENGADAM, V. Project scheduling and monitoring: current research status. **Construction Innovation**, v. 4, p. 19–31, 2004.
- AN, S. H., KIM, G. H., & KANG, K. I. A case-based reasoning cost estimating model using experience by analytic hierarchy process. **Building and Environment**, v. 42, p. 2573–2579, 2007.
- ATANASSOV, E., & DIMOV, I. T. What Monte Carlo models can do and cannot do efficiently?. **Applied Mathematical Modeling**, v. 32, p. 1477–1500, 2008.
- BASHIR, H. A., & THOMSON, V. Metrics for design projects: a review. **Design Studies**, v. 20, p. 263–277, 1999.
- BOWER, D. C., & FINEGAN, A. D. Thesis research report note: New approaches in project performance evaluation techniques. **International Journal of Managing Projects in Business**, v. 2, p. 435-444, 2009.
- CHENG, M. Y., & ROY, A. F. V. Evolutionary fuzzy decision model for construction management using support vector machine. **Expert Systems with Applications**, v. 37, p. 6061–6069, 2010.

- CHENG, M. Y., TSAI, H. C., & SUDJONO, E. Conceptual cost estimates using evolutionary fuzzy hybrid neural network for projects in construction industry. **Expert Systems with Applications**, v. 37, p. 4224–4231, 2010.
- CHOU, J. S. Web-based CBR system applied to early cost budgeting for pavement maintenance project. **Expert Systems with Applications**, v. 36, p. 2947–2960, 2009.
- CHOU, J. S., & O'CONNOR, J. T. Internet-based preliminary highway construction cost estimating database. **Automation in Construction**, v. 17, p. 65–74, 2007.
- COLLYER, S., & WARREN, C. M. J. Project management approaches for dynamic environments. **International Journal of Project Management**, v. 27, p. 355–364, 2009.
- COUGHLAN, P., & COUGHLAN, D. Action research – Action research for operations management. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 22, n. 2, p. 220-240, 2002.
- DAWSON, R. J., & DAWSON, C. W. Practical proposals for managing uncertainty and risk in project planning. **International Journal of Project Management**, v. 16, n. 5, p. 299-310, 1998.
- ENSHASSI, A., MOHAMED, S., & MADI, I. Factors affecting accuracy of cost estimation of building contracts in the Gaza Strip. **Journal of Financial Management of Property and Construction**, v. 10, n. 2, p. 115 – 124, 2005.
- KIM, G. H., AN, S. H., & KANG, K. I. Comparison of construction cost estimating models based on regression analysis, neural networks, and case-based reasoning. **Building and Environment**, v. 39, p. 1235 – 1242, 2004.
- LI, H., SHEN, Q. P., & LOVE, P. E.D. Cost modelling of office buildings in Hong Kong: an exploratory study. **Facilities**, v. 23, n. 9-10, p. 438-452, 2005.
- LONGMAN, A., & MULLINS, J. Project management: key tool for implementing strategy. **Journal of business strategy**, v. 25, n. 5, p. 54-60, 2004.
- MOHAMED, A., & CELIK, T. Knowledge based-system for alternative design, cost estimating and scheduling. **Knowledge-Based System**, v. 15, p. 177-188, 2002.
- MOON, S.W., KIM, J. S., & KWON, K. N. Effectiveness of OLAP-based cost data management in construction cost estimate. **Automation in Construction**, v. 16, p. 336–344, 2007.
- PAPADOPOULOS, C. E., & YEUNG, H. Uncertainty estimation and Monte Carlo simulation method. **Flow Measurement and Instrumentation**, v. 12, p. 291–298, 2001.
- PEETERS, W., & MADAUSS, B. A proposed strategy against cost overruns in the space sector: The 5C approach. **Space Policy**, v. 24, p. 80–89, 2008.
- SHEPPERD, M., & SCHOFIELD, C. Estimating Software Project Effort Using Analogies. **IEEE Transactions On Software Engineering**, v. 23, n. 12, p. 736-743, 1997.
- ZHU, G., BARD, J. F., & YU, G. A two-stage stochastic programming approach for project planning with uncertain activity durations. **Journal of Scheduling**, v. 10, p. 167–180, 2007.