

Metodologia para aplicação da simulação de Monte Carlo no gerenciamento de custos de projetos de construção

Vânia Veiga Rodrigues (UFF) vaniaveiga@uol.com.br

Carlos Alberto Pereira Soares (UFF) carlos.uff@globocom.com

Resumo

A utilização da simulação de Monte Carlo no gerenciamento de custos em projetos visa, sobretudo, possibilitar ao empreendedor, durante o processo decisório, avaliar os riscos aos quais estará sujeito o empreendimento e a tomada de decisões mais segura, resultando, desta forma, na otimização dos lucros.

Inicialmente, o presente trabalho apresenta uma explanação sobre a simulação de Monte Carlo, que consiste basicamente na geração artificial de probabilidade de ocorrência de determinados eventos, ou seja, na geração de valores aleatórios que irão pertencer a uma função densidade de probabilidade pré-estabelecida, com características definidas por intermédio da simulação.

Ressalta-se também a importância de um gerenciamento de custos eficiente, para que as construtoras de edifícios residenciais e comerciais aumentem a competitividade no mercado deste segmento, citando a utilização da simulação de Monte Carlo como uma importante ferramenta para aumento da precisão orçamentária desta tipologia de empreendimento.

A seguir, é proposta uma metodologia para aplicação da simulação de Monte Carlo para avaliar o custo total de projetos de construção, assim como o custo global das diversas atividades que os compõem.

Finalizando, é apresentada uma aplicação prática, exemplificando a metodologia proposta.

Palavras-chave: Gestão de custos; Simulação de Monte Carlo; Análise de risco.

1. Introdução

A teoria e os métodos de análise estocástica tem sido desenvolvidos de forma significativa durante os últimos anos. A publicação de diversos artigos e pesquisas, de forma contínua, no meio técnico-científico comprovam a praticidade e aplicabilidade desses métodos no desenvolvimento de soluções de inúmeros problemas complexos nas mais diferentes Áreas de Pesquisa.

A simulação de Monte Carlo vem sendo utilizada com sucesso na resolução de problemas de engenharia que envolvem um número elevado de variáveis aleatórias que apresentam relações funcionais complexas entre si. Exemplos interessantes da aplicação da simulação de Monte Carlo podem ser observados nos Estudos de Confiabilidade Estrutural, Confiabilidade de Sistemas, Análise de Risco e, mais recentemente, conforme Rafetery (1996), Valeriano (1998) e Kassai (2002), no Gerenciamento de Custos em Projetos.

Uma das principais dificuldades na aplicação do método de Monte Carlo está diretamente relacionada ao grande número de simulações requerido para avaliar a probabilidade de ocorrência de um evento, particularmente quando este valor é relativamente pequeno. No entanto, o método é absolutamente geral e pode atingir qualquer nível de aproximação pré-fixado. A limitação do método é apenas de ordem prática, quanto ao número de interações e o

respectivo esforço computacional a ser empregado. Devido às dificuldades encontradas pelos métodos analíticos tradicionais, e considerando-se que a simulação computacional com o uso de Monte Carlo é bastante simples e de fácil aplicação, diversas técnicas passaram a ser desenvolvidas com o intuito de reduzir o número de interações necessárias.

O gerenciamento de custos, quando implementado de forma adequada em uma construtora, possibilita a comparação dos custos planejados com os realizados dos projetos que executa, a identificação de desvios, e a utilização de medidas para correção e controle da qualidade de produtos e processos produtivos, resultando em custos menores e melhoria da qualidade. A utilização simultânea e combinada de uma gestão de custos eficaz e de técnicas de análise de risco como, por exemplo, a simulação de Monte Carlo, pode ser compreendida como uma estratégia empresarial fundamental, no sentido de reduzir custos e conseqüentemente otimizar o lucro dos empreendimentos imobiliários.

Assim sendo, para que as construtoras assegurem um adequado comportamento frente às condições do mercado, que se torna a cada dia mais competitivo, sendo constituído por consumidores e clientes que aumentam permanentemente seus níveis de exigência com relação aos produtos e prestação de serviços, tornando-se mais rigorosos no recebimento e aceitação sem restrições de suas unidades imobiliárias, faz-se necessário o desenvolvimento de pesquisas que, por intermédio da utilização de ferramentas de análise de risco, possibilitem o desenvolvimento de metodologias orçamentárias mais eficazes.

Desta forma, as empresas de construção civil somente sobreviverão no atual panorama técnico-econômico, caso possam lançar seus empreendimentos a preços competitivos e atenderem aos outros quesitos exigidos pelo mercado como, por exemplo, o cumprimento do padrão de qualidade estabelecido para construção de seus projetos, sendo este um fator fundamental e que não está sujeito a negociações. Isto significa dizer que o lucro estimado para a construção de um empreendimento imobiliário somente poderá ser alcançado com base em processos orçamentários precisos, descartando-se a possibilidade de relaxamento da qualidade na execução dos serviços ou do não cumprimento de cláusulas contratuais.

Como a qualidade final dos empreendimentos é inegociável, a competitividade de uma empresa no mercado é função de sua capacidade de planejar e realizar suas obras com os menores custos, sendo que a diferença entre o custo planejado e o realizado, tanto poderá representar um lucro otimizado como também prejuízo e, conseqüentemente, significar, na prática, desde o crescimento até a não sobrevivência da empresa.

Assim sendo, o crescimento e a sobrevivência das empresas de construção civil estão intimamente relacionados com a capacidade destas em estimarem seus custos de construção com a máxima precisão possível, isto é, com margem de erro mínima em relação aos custos apropriados ao longo da construção de seus empreendimentos.

O presente trabalho apresenta uma metodologia de estimativa de custos que faz uso da simulação de Monte Carlo como uma poderosa ferramenta para o aumento da precisão orçamentária, na estimação do custo global total de empreendimentos imobiliários, tipologia construção e incorporação de prédios residenciais ou comerciais e os custos globais das atividades de construção que compõem este tipo de empreendimento, de tal forma que as construtoras possam utilizá-la no sentido de aumentarem a competitividade no mercado deste segmento.

2. O método de Monte Carlo

O método de Monte Carlo, conforme Rodrigues (2002), é o mais conhecido exemplo da aplicação do conceito relacionado com a simulação computacional de um experimento aleatório, constituindo-se numa poderosa ferramenta de simulação estocástica,

principalmente por sua facilidade de aplicação para analisar a probabilidade de ocorrência de determinados eventos.

A base do método vem a ser o Teorema da Transformação Integral, cuja demonstração está disponível em diversas publicações. Ele permite que, sendo conhecida a função de distribuição acumulada F de uma variável aleatória x , seja “gerada” uma amostra aleatória de tamanho n , representada por (x_1, x_2, \dots, x_n) , com a utilização da expressão:

$$x_i = F^{-1}(r_i) \quad (1)$$

Sendo, $r_i =$ número aleatório $\in [0,1]$.

Portanto, o método da simulação de Monte Carlo é utilizado na solução de problemas que envolvem variáveis aleatórias com funções de probabilidade conhecidas ou assumidas. Sabe-se que, se $f_x(x)$ representar a função densidade de probabilidade da variável x , tem-se:

$$F_x(x) = \int_{-\infty}^{+\infty} f_x(x) dx \quad (2)$$

Considerando que o método permite a obtenção da probabilidade de ocorrência de determinados eventos, o interesse da pesquisa está em determinar a probabilidade de ocorrência de valores menores do que o valor estimado para custo/m² de determinado empreendimento imobiliário. Essa probabilidade será estimada através da frequência relativa f_A , definida através da expressão:

$$f_A = \frac{n_A}{n} \quad (3)$$

Onde:

$n_A =$ número de ocorrências da variável estudada dentro dos limites do evento A .

$n =$ representa o número de simulações.

3. A distribuição beta

O primeiro passo para aplicação desta técnica é a identificação da distribuição de probabilidade da variável que está sendo objeto de estudo, ou seja, da variável custo/m².

A escolha da distribuição de probabilidade é a parte mais difícil do processo que envolve a simulação de Monte Carlo e, segundo Flanagan (1993), para a variável custo/m², a distribuição de probabilidade mais apropriada é a distribuição beta, uma vez que as distribuições que formam este conjunto são as únicas capazes de apresentar simultaneamente as seguintes características:

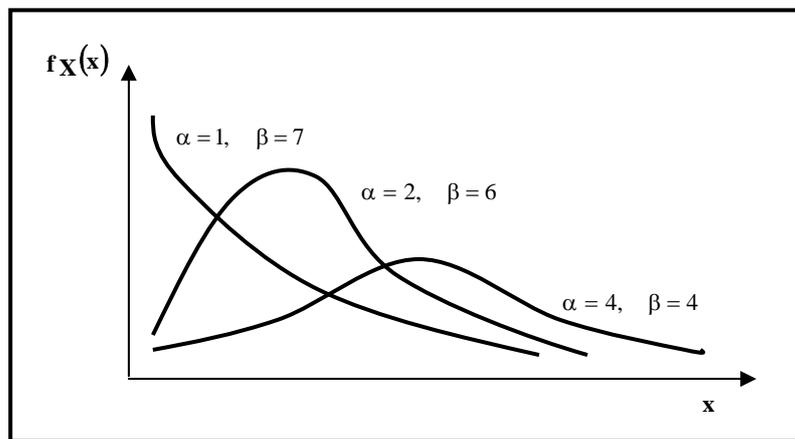
- Permitir a atualização com facilidade, através da introdução de novos dados históricos;
- Possuir bastante flexibilidade, ou seja, pode tomar uma grande variedade de formas em função dos parâmetros de forma α e β ;
- Ser facilmente identificável para uma determinada amostra.

Sabe-se que a distribuição beta é caracterizada pela seguinte função densidade de probabilidade:

$$(4) \quad f_X(x) = \frac{\Gamma(\alpha+\beta)}{\Gamma(\alpha)\cdot\Gamma(\beta)} \cdot x^{\alpha-1} \cdot (1-x)^{\beta-1}, \quad 0 \leq x \leq 1$$

Onde os parâmetros α e β assumem apenas valores positivos. O coeficiente $\frac{\Gamma(\alpha+\beta)}{\Gamma(\alpha)\cdot\Gamma(\beta)}$ pode ser representado por $\frac{1}{B(\alpha,\beta)}$, onde $B(\alpha,\beta) = \frac{\Gamma(\alpha)\cdot\Gamma(\beta)}{\Gamma(\alpha+\beta)}$ é conhecida como função beta.

Os parâmetros α e β , são considerados parâmetros de forma; diferentes combinações de seus valores dão origem a uma variedade de formas da função densidade, conferindo flexibilidade à mesma. Na figura 1 são ilustradas algumas das formas possíveis.



Fonte: Rodrigues (2001)

Figura 1– Distribuição Beta para diferentes valores de α e β

Escolhida a distribuição de probabilidade, a seguir devem ser gerados n números aleatórios $r_i \in [0,1]$, para cálculo de n valores aleatórios, através da equação (1), sendo X a variável custo/m² e F sua função de distribuição acumulada. No caso da função beta, a função de distribuição acumulada é dada por:

$$F(X;\alpha;\beta) = I_X(\alpha,\beta) \quad (5)$$

Sendo:

$I_X(\alpha,\beta)$, a função beta incompleta.

Os valores aleatórios de X podem ser gerados na prática, com a utilização de programas computacionais matemáticos. Rodrigues (2002) sugere a utilização do aplicativo Mathcad 2000 Professional que possui a função pré-definida $rbeta(m, s_1, s_2)$ que gera automaticamente m valores de X , uma vez fornecidos os parâmetros s_1 e s_2 , que correspondem, respectivamente, aos parâmetros α e β da função beta, que são calculados através da resolução do sistema formado pelas equações (6) e (7), relacionadas a seguir:

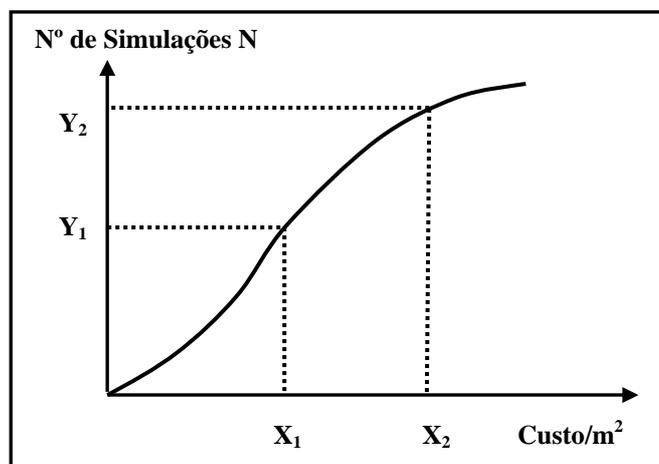
$$m_x = \frac{\alpha}{\alpha + \beta} \quad (6)$$

$$\delta_x^2 = \frac{\alpha \cdot \beta}{(\alpha + \beta)^2 \cdot (\alpha + \beta + 1)} \quad (7)$$

Onde:

m_x e δ_x^2 são os valores da média e da variância da amostra respectivamente.

Dividindo-se o intervalo compreendido entre o menor e o maior valor gerado em n intervalos de classe de mesma amplitude; determinando o número de valores gerados que pertencem a cada intervalo de classe e considerando os números encontrados de forma acumulada, traça-se a curva custo/m² x nº de simulações, representada na figura 2, que tanto pode fornecer a probabilidade de ocorrência de um valor para custo/m² menor de que determinado valor, quanto estimar que valor deve ser adotado para determinada probabilidade.



Fonte: Rodrigues (2001)

Figura 2– Curva de frequência acumulada

Assim sendo, a curva da figura 2 indica que para um total de N simulações, a probabilidade de ocorrer um valor para custo/m² menor que X_1 é de Y_1/N e ainda que existe uma probabilidade de Y_2/N de ocorrer um valor menor que X_2 .

4. Metodologia para aplicação do método de Monte Carlo

4.1 Escolha das atividades de construção

Como o tipo de empreendimento abordado no presente trabalho é composto de diversas atividades, cada qual podendo utilizar vários insumos, tais como materiais, mão-de-obra e equipamentos, torna-se claro que possuem pesos e importâncias diferenciadas em relação ao custo da obra e, portanto, devem ser tratadas de formas diferentes. Assim sendo, deve-se considerar atividades de acordo com o nível compensatório, ou seja, conforme a relação custo-benefício. Para tal, pode-se lançar mão do princípio de Pareto, também conhecido como o princípio dos “poucos significativos e muitos insignificantes”.

Com base no citado princípio, foi criada a classificação da curva ABC – *Activity Based Costing*, aplicada ao controle de estoques nos processos industriais de produção, que nada mais é do que uma forma de representar as atividades por seu grau de importância em relação ao custo total da obra e se divide em três faixas:

- Faixa A – as atividades desta região são aquelas responsáveis pela parcela mais significativa do custo da obra (cerca de 70%), assim sendo, a faixa A reflete as atividades mais importantes e que merecem tratamento especial, em termos de acompanhamento e controle. Apesar da reduzida quantidade de atividades desta faixa, cerca de 10%, qualquer esforço na melhoria da produtividade, consumo ou custo destas atividades, pode representar uma economia significativa em termos de custo total do empreendimento.
- Faixa B – as atividades da região B são aquelas que possuem um peso intermediário, abrangendo cerca de 30% do número total de atividades, representando aproximadamente 25% do custo total do projeto.
- Faixa C – as atividades da região C possuem um peso bem menor em relação ao custo total do projeto (cerca de 5%) e se caracterizam pelo seu elevado número (cerca de 60% do número total de atividades).

A classificação ABC permite concluir, não apenas sobre quais atividades devem ser consideradas na metodologia, mas também que o tratamento estatístico aplicado pode, e deve ser variável para as atividades que compõem o empreendimento.

No traçado da Curva ABC deve-se ordenar as atividades considerando-se a importância relativa de cada uma, tomando-se por base dados históricos de projetos anteriores e determinando-se o peso do custo percentual de cada uma em relação ao custo total do projeto e, calculando-se, em seguida, os valores acumulados desses pesos. O número da atividade, estabelecido em ordem decrescente, de acordo com o seu peso percentual e o respectivo valor percentual acumulado definem um ponto e, com uma série de pontos, a classificação ABC pode ser representada conforme a figura 3. Obviamente, no mercado existem diversos programas computacionais, destinados ao gerenciamento de custos de projetos, que traçam a Curva ABC com bastante facilidade.

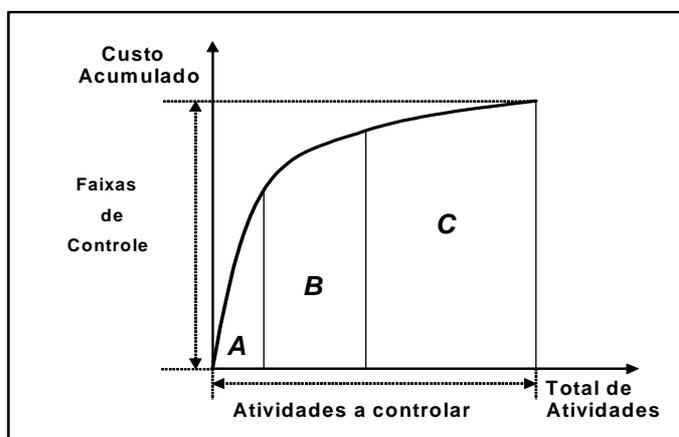


Figura 3 – Curva de classificação ABC

Na presente metodologia, sugere-se que sejam consideradas todas as atividades pertencentes às faixas A e B, pois, desta forma, será possível estimar aproximadamente 95% do custo total de construção do novo projeto.

4.2 Escolha das amostras a serem utilizadas nas simulações

Após a etapa de definição das atividades de construção a serem consideradas na metodologia, escolhidas segundo a classificação ABC, devem ser coletadas, para cada uma das atividades, amostras de valores de custo/m² de construção, com base em empreendimentos similares realizados anteriormente pela construtora, obtidos por intermédio da relação entre o custo

total apropriado para cada atividade de determinado empreendimento e a área total de construção do mesmo.

Atenção especial deve ser dada ao processo de escolha das amostras, pelo fato de que a técnica da simulação de Monte Carlo precisa, obrigatoriamente, ser aplicada com base em dados reais, isto é, em dados históricos. Desta forma, o presente trabalho recomenda, a seguir, os cuidados necessários para a escolha adequada dos valores de custo/m² de construção que farão parte das amostras, de tal forma que sejam obtidos resultados confiáveis.

Os processos desenvolvidos nos empreendimentos de construção civil são repletos de variações devidos aos fatores que os integram. Essas variações são basicamente de dois tipos: as intrínsecas aos processos, que são variações naturais, de ocorrência esperada, fruto do contexto em que os fatores são utilizados; e as extrínsecas aos processos, que são variações excepcionais, de ocorrência inesperada e aleatória, que afastam os processos de seu estado natural de funcionamento.

Sabe-se que os consumos de materiais, mão-de-obra e equipamentos são característicos de cada construtora e de cada canteiro de obra, variando, conforme diversos fatores de influência, tais como: características dos materiais e sistemas construtivos empregados, estrutura organizacional da construtora e de seus canteiros de obra, técnicas de gerenciamento utilizadas, tipo de contrato, condições climáticas, entre outros. Especificamente com relação ao consumo de mão-de-obra, fatores como qualidade de vida e segurança no trabalho, absenteísmo, rotatividade e motivação podem causar variações dos coeficientes de produtividade. Assim, todos os fatores relevantes devem ser considerados no processo de coleta de dados.

Outro aspecto importante a ser observado refere-se à sistemática de apropriação de custo, durante o processo construtivo, que possibilita às construtoras obterem seus próprios índices de consumo.

Recomenda-se uma sistemática formada por três passos: a definição do escopo da mensuração, o levantamento de dados e o tratamento de dados.

Na definição do escopo da mensuração devem ser definidos o que medir, quanto medir e quando medir. O que medir pode ser qualquer variável que direcione o foco do controle somente para os elementos realmente importantes para o processo de controle e avaliação; quanto medir implica na definição da abrangência da mensuração, sendo função de seu custo e do nível de detalhamento em que será efetuada a análise; quando medir define o momento ideal para a mensuração, que pode ser durante o período de ocorrência ou ao seu término. Mensurar durante o período de ocorrência apresenta a vantagem de se poder efetuar correções antes do término das operações. Contudo o custo da mensuração durante etapas intermediárias do processo pode se revelar mais oneroso do que na etapa final, sendo a definição do melhor procedimento, baseada na análise de custo-benefício.

No levantamento de dados, três fatores devem ser considerados:

- o nível de precisão com que estes deverão ser coletados em função do tipo de análise e das características do processo de trabalho;
- o instrumental necessário para a realização da coleta de dados, incluindo não só a adequação dos instrumentos de medição propriamente ditos, mas também a dos formulários de coleta;
- a capacitação do pessoal envolvido no que diz respeito a capacidade destes em compreender o objetivo e a sistemática de levantamento, e a utilizar os instrumentos e preencher os formulários de maneira adequada.

No tratamento dos dados as informações coletadas devem receber um tratamento que as tornem adequadas aos objetivos da mensuração.

O sistema de apropriação deve ser adequado à estrutura de cada construtora e deve suprir as necessidades de obtenção de coeficientes de produtividade próprios, requerendo, assim, um interesse e esforço no sentido destas coletarem, acumularem e processarem dados de obras de tipologias semelhantes, por intermédio de um sistema de apropriação adequadamente projetado.

Em síntese, o sistema de apropriação deve possibilitar índices de consumo que devem retratar as variáveis específicas de cada construtora e das tipologias construídas considerando: as características das obras de onde foram obtidas as composições (localização, tipologia, dados de projeto); as indicações dos critérios de medição dos vários serviços; as características da mão-de-obra a ser empregada e da supervisão utilizada; a qualidade do material disponível no local; o projeto como um todo quanto à facilidade de construção (características arquitetônicas, detalhes de execução dos diversos projetos tais como: estrutural, elétrico, hidráulico, instalações especiais, etc.). Assim sendo, conclui-se que a atividade de apropriação é importantíssima para a aplicação da simulação de Monte Carlo proposta por este trabalho, devendo ser um instrumento de controle, de formação e levantamento de custos, retratando as atividades dos empreendimentos executados, em seus mínimos detalhes, tendo como meta principal a obtenção de índices de consumo confiáveis que representem a realidade da construtora e, conseqüentemente, para cada atividade, um custo/m² de construção confiável, a ser utilizado na simulação.

4.3 Determinação do número de simulações

Outro aspecto muito importante na simulação de Monte Carlo diz respeito ao número de interações necessárias. Em geral quanto maior o número de simulações, melhor a curva de distribuição acumulada refletirá a gama de resultados possíveis. No entanto, Flanagan (1993) indica a utilização do teste do qui-quadrado para verificar se a quantidade de simulações realizadas é suficiente.

Rodrigues (2002) propõe uma alternativa mais simples para a avaliação do número de interações, por meio da expressão:

$$N \geq \frac{p(1-p)}{\varepsilon^2 \cdot \delta} \quad (8)$$

Onde:

p = probabilidade a ser estimada pelo Método de Monte Carlo;

ε = erro máximo para a estimativa de p;

δ = coeficiente de variação.

Considerando-se o percentil 95 como um valor razoável para a variável custo/m² e tomando-se para os valores de ε e δ , respectivamente 0,03 (3%) e 0,2, a aplicação da expressão (8) fornecerá para N o valor de 264 interações.

É claro, que esse valor de N deve ser considerado apenas como uma avaliação inicial do número de simulações. A aplicação da fórmula (8), simultaneamente com a utilização do teste do qui-quadrado, fornecerá uma estratégia adequada para orientar o pesquisador no sentido de verificar se o valor de N está correto ou não.

4.4 Execução das simulações

Após a coleta das amostras de custo/m² de construção das diversas atividades a serem consideradas, deverão ser calculadas para cada amostra as respectivas médias e variâncias. Através dos valores das médias e variâncias calculados poderão ser obtidos, por intermédio do sistema formado pelas equações (6) e (7), os parâmetros α e β ; referentes a cada tipo de distribuição Beta correspondente a cada uma das atividades de construção.

A seguir, para cada atividade de construção, deverão ser informados os valores α e β , no aplicativo Mathcad 2000 Professional para serem gerados, conforme estabelecido anteriormente, um mínimo de 264 interações.

Também, segundo recomendado anteriormente, deve-se, em seguida, dividir o intervalo compreendido entre o menor e o maior valor de custo/m² de construção gerados, em intervalos de classe de mesma amplitude; determinando-se o número de valores gerados que pertencem a cada intervalo de classe e considerando os números encontrados de forma acumulada. Estes procedimentos possibilitarão o traçado das diversas curvas de custo/m² x n° de simulações, similares a curva representada na figura 2 e referentes a cada uma das atividades de construção.

O valor mais provável para custo/m² de cada atividade será obtido por meio da respectiva curva traçada e deverá ser utilizado para estimar o custo total da mesma atividade em um novo empreendimento, multiplicando-o pela metragem quadrada total deste empreendimento.

Realizando-se este mesmo procedimento para cada uma das diversas atividades de construção serão obtidos os valores globais prováveis para cada uma delas e, realizando-se o somatório de todos os valores encontrados será obtido o valor para custo total de construção do novo empreendimento.

Finalizando, deverá ser realizado, conforme as recomendações de Flanagan (1993) o teste do qui-quadrado (χ^2), para verificar se as distribuições Beta encontradas, ajustam-se de forma adequada aos dados considerados.

5. Aplicação prática do método

Seja uma atividade caracterizada como expressiva, segundo o critério da Curva ABC descrito anteriormente, cujo custo total em um novo empreendimento uma construtora deseja estimar. Considerando-se que os custos desta atividade por metro quadrado de construção em empreendimentos similares anteriores realizados pela construtora, isto é, empreendimentos com mesmo padrão de acabamento, mesmas especificações técnicas e com área de construção total próxima a do empreendimento em análise, apresentaram os seguintes valores em reais: 40,70; 41,30; 41,80; 42,60; 43,00; 43,50; 44,00; 44,00; 45,10; 45,50; 46,20; 46,70 e 47,00.

Fazendo-se uso da metodologia descrita no presente trabalho, são encontrados para a média e desvio padrão da amostra, respectivamente, os valores de R\$44,00/m² e R\$ 2,065/m². Substituindo-se os valores encontrados nas equações (6) e (7), tem-se:

$$44,00 = \frac{\alpha}{\alpha + \beta} ; \quad (9)$$

$$(2,065)^2 = \frac{\alpha \cdot \beta}{(\alpha + \beta)^2 \cdot (\alpha + \beta + 1)} . \quad (10)$$

Resolvendo-se o sistema formado pelas equações (9) e (10), são encontrados os seguintes valores para α e β : $\alpha = 577,23$; $\beta = 734,64$. Informando os valores de α e β no aplicativo

Mathcad 2000 Professional, arredondando-se o valor de 264 interações, foram realizadas 300 (trezentas) interações, resultando em trezentos valores para custo da atividade por metro quadrado de construção.

Dividindo-se o intervalo compreendido entre o menor e o maior valor de custo da atividade por metro quadrado de construção da amostra, em sete intervalos de classe, foram encontradas as freqüências de valores para os intervalos considerados relacionadas na tabela 1.

	40,00	41,10	42,10	43,10	44,10	45,10	46,10
Intervalo de Classe	a	a	a	a	a	a	a
	41,00	42,00	43,00	44,0	45,00	46,00	47,00
Freqüência	7	16	44	78	83	43	29

Tabela 1 - Freqüências obtidas em 300 simulações

Através das freqüências acumuladas para os intervalos de classe considerados na tabela1, traçou-se a curva da figura 4.

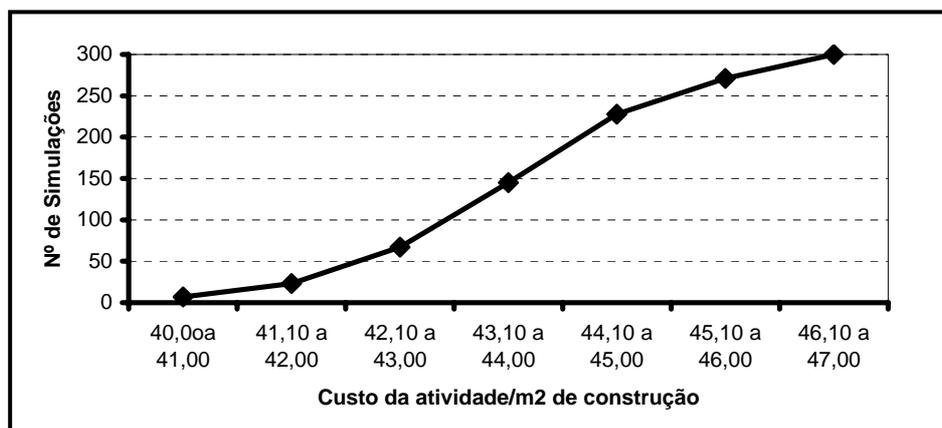


Figura 4 – Curva referente a 300 simulações

Conforme calculado anteriormente, através da expressão (8), que indicou a necessidade de serem realizadas 264 interações, foi efetuado, segundo as recomendações de Flanagan (1993), também já mencionadas, o teste do qui-quadrado (χ^2) para os dados referentes a 300 simulações, verificando-se um valor para o χ_{ϕ}^2 observado de (χ_{ϕ}^2) igual a 3,02, sendo o χ_{ϕ}^2 crítico igual a 9,49, para um nível de significância igual a 5%. Desta forma, como o valor crítico (9,49) é maior que o observado (3,02), tem-se que a distribuição beta considerada ajusta-se de forma satisfatória aos dados do problema. Assim sendo, o procedimentos propostos por este trabalho, através da aplicação da equação (8) e as recomendações de Flanagan (1993) são válidos, respectivamente, para a avaliação inicial do número de simulações e a confirmação se o número utilizado está correto ou não, concluindo-se que a utilização simultânea dos mesmos consiste em um método eficaz para determinação do número N de interações necessárias no uso da simulação de Monte Carlo.

Além disso, é muito comum que empreendedores ao estimarem o custo/m² de determinada atividade, para um novo empreendimento, utilizem a média dos valores obtidos em projetos anteriores. Observando-se a curva da figura 4, é possível verificar que este procedimento pode

levar a estimativas muito imprecisas, pois, neste caso, verifica-se a probabilidade aproximada de apenas 48% de ocorrer um valor para custo/m² menor do que o valor de R\$ 44,00 correspondente a média da amostra utilizada.

Caso o empreendedor tenha a intenção de trabalhar com um nível de confiança de 95%, a curva de frequência acumulada traçada na figura 4 indica um valor de aproximadamente R\$46,00 a ser utilizado para a variável custo/m² de construção da atividade em estudo.

Em resumo, para estimar o custo total da atividade em um novo empreendimento, com uma probabilidade de acerto de 95%, deve-se multiplicar o valor de R\$ 46,00 pela área de construção do empreendimento. Realizando-se este mesmo procedimento para todas as atividades de construção e, somando-se os valores obtidos, será encontrado o valor para o custo total de construção do empreendimento.

6. Conclusões

Inicialmente, conclui-se que a metodologia proposta por este trabalho com suas respectivas etapas pode ser sintetizada, através do fluxograma representado na figura 5.

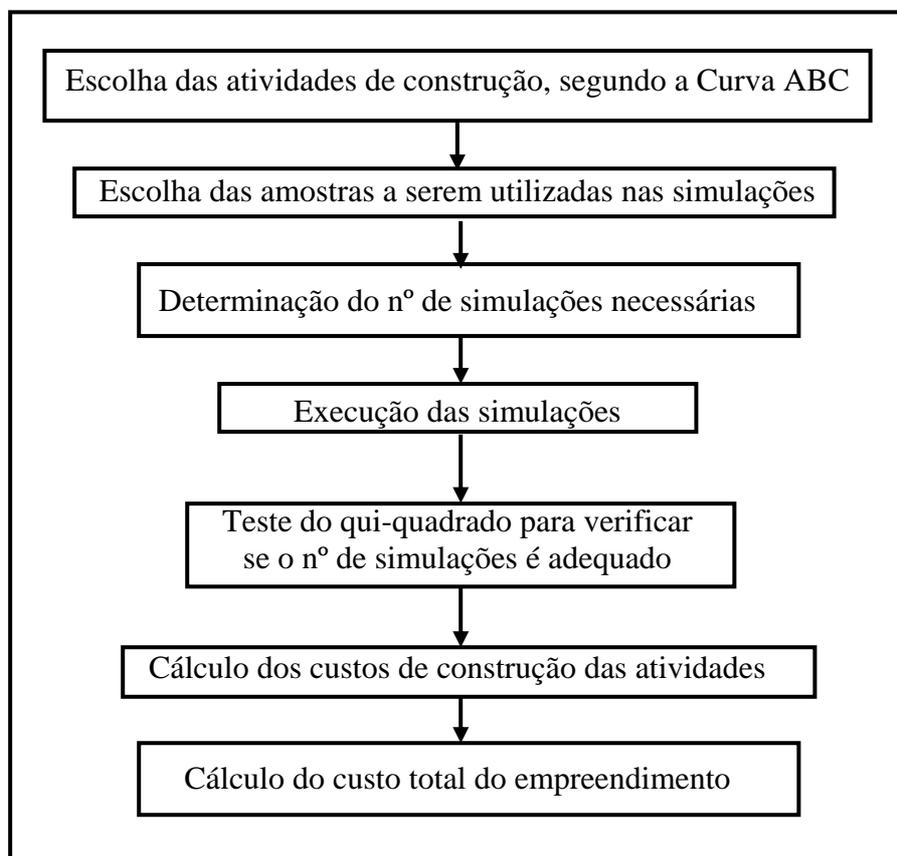


Figura 5 – Síntese da metodologia proposta

Verifica-se que o critério da Curva ABC é muito importante na escolha das atividades, uma vez que a melhor estratégia, na utilização da metodologia, corresponde a consideração do menor número de atividades possível, desde que representem a maior parte do custo total de construção do empreendimento.

Como a técnica da simulação de Monte Carlo precisa ser necessariamente aplicada em valores históricos de custo/m² de cada construtora, é possível concluir que para fazer uso da

metodologia proposta, é imprescindível que uma construtora possua um sistema de gestão de custos de construção eficaz, de tal forma que os valores adotados na amostragem representem a sua realidade. Entretanto, uma gestão de custos eficaz significa, também, que a construtora precisa conhecer e trabalhar com seus próprios coeficientes de produção, o que só é possível através de uma sistemática adequada de apropriação de serviços.

Também, é importante ressaltar, que esta metodologia não representa uma ferramenta para substituir o julgamento do especialista, e sim, um método para aumento da precisão orçamentária que pode auxiliá-lo em decisões que solicitem fechamentos mais minuciosos.

Finalizando, é fundamental comentar que o custo para construção do empreendimento estimado inicialmente, por intermédio da simulação de Monte Carlo, seja gerenciado durante a execução da obra, comparando-se periodicamente o realizado com o previsto, através do controle de prazo, de recursos, de custos e da qualidade, de tal forma que se obtenha redução de custos mantendo sempre a qualidade, otimizando, desta forma, o lucro inicialmente previsto.

Referências

FLANAGAN, R. and NORMAN, G. *Risk Management and Construction*. Blackwell Science Ltd: London, 1993. 208 p.

KASSAI, J.R. et al. *Retorno de Investimento - Abordagem Matemática e Contábil do Lucro Empresarial*. Atlas:São Paulo, 2002. p. 98-141

RAFETERY, J. *Risk analysis in project management*. Chapman&Hall: London, 1996. 137 p.

RODRIGUES, V.V. *Modelo de Análise de Risco Aplicado a Estudos de Viabilidade para Construção e Incorporação de Prédios Residenciais*. 2001. 236 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Centro Tecnológico da Universidade Federal Fluminense. Niterói. 2001.

RODRIGUES, V.V. et al. *The Use of Monte Carlo Simulation to Appraise the Risk of not Fulfilled Costs Previously Established for a Project*. In: National Conference With International Participation – In Situ Behavior of Constructions, 14th Edition, Galatzi, Bucaresti, România, Conference's Book, pp.227-235, 2002.

VALERIANO, D.L. *Gerência em Projetos - Pesquisa, Desenvolvimento e Engenharia*. Makron Books: São Paulo, 1998. 438 p.