

28 de dezembro de 2011



Prática Recomendada nº 43R-08 da AACE® International

**ANÁLISE DE RISCO E DETERMINAÇÃO DE CONTINGÊNCIA UTILIZANDO  
ESTIMATIVA PARAMÉTRICA – EXEMPLOS DE MODELOS CONFORME APLICADOS A  
PROCESSOS INDUSTRIAIS**

Estrutura de TCM: 7.6 – Gestão de Riscos

Revisada em 28 de dezembro de 2011

Observação: Como as Práticas Recomendadas da AACE International evoluem ao longo do tempo, recomendamos a consulta ao site [www.aacei.org](http://www.aacei.org) para obter as versões mais recentes.

**Aviso:** Essa é uma versão traduzida da Recommended Practice da AACE International e pode, portanto, conter variações de interpretação. Para correto entendimento do conteúdo aqui descrito, é imperativa a leitura da Recommended Practice no idioma original.

**Colaboradores:**

*Declaração de isenção de responsabilidade: As opiniões expressas na presente prática recomendada são dos autores e colaboradores e não refletem necessariamente as posições de seus empregadores, salvo disposição em contrário.*

28 de dezembro de 2011

Rashmi Prasad (Autor)

Alan J. Chilcott, CCE

John K. Hollmann, PE CCE CEP

Charles J. Pospisil

Dr. Maarten S. A. Vrijland

28 de dezembro de 2011

Prática Recomendada nº 43R-08 da AACE® International

## ANÁLISE DE RISCO E DETERMINAÇÃO DE CONTINGÊNCIA UTILIZANDO ESTIMATIVA PARAMÉTRICA – EXEMPLOS DE MODELOS CONFORME APLICADOS A PROCESSOS INDUSTRIAIS

Estrutura de TCM: 7.6 – Gestão de Riscos

### INTRODUÇÃO

#### Escopo

Esta prática recomendada (PR) é um adendo à PR 42R-08 intitulada *Análise de Riscos e Determinação de Contingência Utilizando Estimativa Paramétrica*. Ela fornece três exemplos práticos (do Microsoft Excel®) de modelos de processos industriais com base empírica estabelecida, do tipo abordado pela PR inicial: dois se referem a custos e um é dedicado a cronograma de construção. Os exemplos de modelos pretendem servir como recursos educacionais e de desenvolvimento; antes de serem usados para a análise de riscos e estimativa de contingência, os usuários deverão estudar a documentação que contém as fontes de referência, além de aferir e validar os modelos de acordo com sua própria experiência.

Esta PR resume três modelos emblemáticos de base empírica; o modelo de “Hackney”, que foi apresentado pela primeira vez no texto de John Hackney, publicado em 1965, *Controle e Gestão de Projetos de Capital* (que foi ampliado em 1992 e reimpresso como uma publicação da AACE em 2002) e os dois modelos “RAND”, criados posteriormente. O modelo de custo “RAND” originou-se da pesquisa feita em 1981 por Edward Merrow *et al.* e da qual John Hackney participou como consultor. O modelo de cronograma de construção da RAND Corporações originou-se da pesquisa realizada em 1986 por Christopher Myers *et al.* que expandiu a pesquisa sobre custos de 1981. Tais modelos propõem relações de causalidade plausíveis entre o crescimento do custo (ou seja, utilização da contingência) e atraso de cronograma e diversos motivadores sistêmicos de riscos, tais como os níveis de desenvolvimento do processo e das informações do escopo do projeto, e seu nível desenvolvimento de tecnologia. Os modelos apresentam análises semelhantes - empíricas e quantitativas - das razões de resultados de estimativas imprecisos em relação a custos de capital e à duração do cronograma, fornecendo também ferramentas para melhorar a avaliação dos prospectos comerciais de projetos nos estágios iniciais do desenvolvimento do escopo e/ou projetos que utilizam tecnologias avançadas. Antes de tais modelos, a literatura sobre as causas do aumento de custos e prazos de cronograma em plantas industriais dispunha de pouco consenso sobre a contribuição relativa dos diversos fatores de risco. Portanto, os autores dos documentos usados como fonte de referência mensuraram os fatores e avaliaram estatisticamente sua relativa influência sobre o aumento de custos e prazos de cronograma para projetos em plantas industriais realizados na América do Norte. O resultado do trabalho exerceu impacto significativo sobre o exercício da engenharia de custos e também sobre a evolução dos sistemas de desenvolvimento de escopo segundo o método Stage-Gate de gestão de projetos (ou seja, esses estudos são a base para a PR nº 18R-98 da AACE sobre classificação de estimativas de custos,).

28 de dezembro de 2011

O presente documento procura resumir os fundamentos dos modelos, mas é altamente recomendado que os usuários revisem os documentos de origem antes de utilizar as ferramentas como base para seu próprio estudo ou desenvolvimento. As instruções para o uso das ferramentas estão fornecidas em planilhas.

## PRÁTICA RECOMENDADA

### Precauções

Modelos empíricos, até que sejam validados com novos dados ou análises, não podem ser considerados como diretamente aplicáveis a projetos além do escopo daqueles que formam sua base empírica. Os elementos a seguir descrevem a base geral do modelo.

### Tipos de Projetos

Esses modelos são baseados em experiências de projetos reais em plantas industriais realizados na América do Norte a partir da década de 1950 até a década de 1980. Projetos em plantas industriais são caracterizados por terem como parte principal equipamentos mecânicos de processo e equipamentos customizados, conectados por uma variedade de elementos estruturais relativos à tubulação, parte elétrica, controle e outros itens do escopo. A tubulação tende a ser o direcionador de custo mais significativo além equipamentos. Em termos de cronograma, grandes compras de equipamento normalmente têm prazos de entrega longos. A base de modelo dos projetos geralmente inclui as unidades de processo e suporte fora do limite de bateria e componentes externos. Esses tipos de projeto são comuns nas indústrias de petróleo e gás, petroquímica, química, hidro metalúrgica, energética e outras. Os princípios são úteis, mas os modelos serão menos aplicáveis em projetos com poucos equipamentos de processo (ou seja, construção e infraestrutura) ou em projetos nos quais os equipamentos e maquinário sejam dominantes (por exemplo, processos a seco com pouca tubulação, manufatura, metalurgia, etc.).

Levando em conta que a natureza básica do negócio de engenharia, contratação e construção não mudou drasticamente desde a década de 1980, considera-se que o tempo não diminuiu muito o valor dos modelos. **No entanto, os usuários devem sempre validar os modelos comparando-os com seus dados mais atuais. A AACE ficaria grata se outros pesquisadores atualizassem ou ampliassem o trabalho empírico desses pioneiros.**

### Faixas de Dados

Existem muitas variáveis nesses modelos paramétricos e exemplos mostram as faixas de inserção permitidas para cada uma. No entanto, os usuários devem tomar extremo cuidado ao inserir a maioria ou todos os valores variáveis em seus extremos. Isso seria extrapolar os modelos para fora da faixa de dados empíricos e a extrapolação normalmente gera resultados insatisfatórios. Por exemplo, o modelo de Hackney pode ter uma classificação de definição máxima de 8498; entretanto, seria raro que um projeto tivesse uma classificação geral superior a 5000. Da mesma forma, se todas as variáveis dos modelos de custo RAND e de cronograma forem lançadas em sua classificação definida como melhor possível, o resultado será contingência negativa e erro, que geralmente não são resultados recomendados (a menos que a estimativa-base e o cronograma sejam tendenciosos para o lado conservador – uma consideração importante que não é abordada no modelo).

### Faixas de Risco

Esses modelos se restringem a avaliar riscos *sistêmicos* ou aqueles motivados por características impostas pelas práticas da empresa, processos da fábrica, sistema de projeto e assim por diante. Riscos que não sejam “específicos do projeto” e que tenham poucos pontos em comum em termos de ocorrência ou impacto não são passíveis de análise com regressão. Nos estágios iniciais da definição do escopo (por exemplo, nas estimativas de

28 de dezembro de 2011

Classe 5 ou 4), os riscos sistêmicos são os principais motivadores de aumento de custo e atraso de cronograma. Quando a definição estiver clara (Classe 3 ou melhor), os riscos específicos do projeto tornam-se mais dominantes e outros métodos de análise de contingência, como as abordagens de estimativa de faixas ou cálculo do valor esperado são mais apropriadas. Observe que para as finalidades desta prática recomendada, risco é definido como *o impacto ou efeito líquido da incerteza (ameaças – oportunidades)*.

### **MODELO DE CUSTO RAND (1981)**

#### Contexto

O modelo de aumento de custo da RAND de 1981 foi resultado de uma pesquisa feita para o Departamento de Energia dos Estados Unidos (DOE) para estudar os problemas de custos e desempenho em plantas industriais pioneiras. Os autores do estudo RAND utilizaram os conhecimentos da engenharia de custos daquele momento (tais como os documentados no modelo de Hackney, com ênfase no nível de definição do escopo e no nível de desenvolvimento da tecnologia como importantes motivadores do aumento de custo) e “input” de clientes da RAND como ponto de partida para seu trabalho. O modelo RAND é resumido aqui em primeiro lugar porque é mais usado do que o trabalho de Hackney e reflete uma amostragem estatística e uma abordagem analítica mais robustas.

O estudo de custos da RAND reuniu informações referentes ao desempenho de planejamento e de custos em plantas industriais que eram pioneiras em sua área de atuação, cujas instalações já estavam concluídas na América do Norte e usavam técnicas de regressão para identificar aumento de custo. No modelo final, foi utilizado um conjunto de dados composto por 106 estimativas oriundas de 40 fábricas. O relatório da RAND apresenta diversos modelos de importância estatística. O estudo concluiu que as seguintes características de projeto e de estimativa são as mais significativas em termos de aumento de custos:

#### Nível de Uso de Novas Tecnologias

Na indústria, foi observado que problemas imprevistos de desenho, engenharia, construção ou de início de atividades ocorriam quando uma planta industrial usava tecnologias que não haviam sido comercialmente comprovadas. Esses problemas de projeto frequentemente exigem extensos redesenhos ou reparos durante a execução do projeto. O nível de novidade da tecnologia foi concebido no estudo como um contínuo, variando de tecnologias completamente padronizadas, que são processos replicados comercialmente, até o aumento em escala de um processo apenas demonstrado em projeto-piloto ou em instalação de pesquisa. O estudo da RAND testou várias medidas quantitativas desse contínuo de tecnologia na condição de direcionadores de aumento custo. Os pesquisadores descobriram que a proporção relativa do custo total da planta investido nas etapas do processo usando tecnologias não comprovadas comercialmente apresentava a correlação mais alta com o aumento de custos. Essa variável foi chamada de PCTNEW.

#### Impurezas

Outra observação da indústria foi que o nível de dificuldade técnica encontrado durante a fase de pesquisa e desenvolvimento (P&D) e desenvolvimento inicial do processo aparentava estar correlacionado aos problemas vivenciados mais tarde em relação ao desenho, construção e início de atividades do projeto. Em particular, o aumento de custos demonstrou uma relação ascendente com a presença de IMPUREZAS (associadas a acúmulos e corrosão) nos fluxos de matérias-primas ou de processos, especialmente nos processos que envolviam catalisadores ou extensa reciclagem.

28 de dezembro de 2011

### Definição do Projeto

O volume e qualidade de informações sobre o projeto usadas como base da estimativa mostraram-se altamente correlacionados ao aumento de custos. Os pesquisadores concluíram que a medida com a melhor correlação seria uma combinação do nível de definição de engenharia conseguido antes da estimativa e o grau médio de definição dos quatro seguintes elementos de informação sobre o local: configurações da unidade no interior e no exterior das instalações (plantas do terreno), dados sobre o solo/hidrologicos, exigências ambientais e exigências referentes à Saúde, Segurança e Meio Ambiente. Uma variável composta chamada DEFINIÇÃO DO PROJETO foi criada por meio da classificação da definição de cada um dos elementos em uma escala de quatro pontos, computando o valor médio das quatro variáveis de informação sobre o local e adicionando o nível de classificação de engenharia àquela média.

### Outras Variáveis

As variáveis acima são dominantes, mas outros direcionadores de aumento de custos foram identificados e incluídos no modelo. Eles são:

**COMPLEXIDADE DA PLANTA:** uma contagem do número de etapas de processo vinculados continuamente ou de módulos unitários na planta. Quando existem mais etapas de processo vinculadas, existem mais possibilidades de negligenciar questões relacionadas ao processo, que tendem a se propagar e, por vezes, se acumular ao longo do fluxo do processo.

**ABRANGÊNCIA:** Se a estimativa-base excluir determinados custos com tendência a ocorrer, mais aumento de custo pode ser esperado. A variável utilizada no modelo é o percentual de três elementos normalmente necessários, porém excluídos, na estimativa-base de custos, e cada um deles é pontuado como 1 caso incluído e como 0 se não for – por exemplo, se um de três itens for incluído, a variável é 33,3%.

- aquisição de terrenos/arrendamento/aluguel de propriedades,
- inventário inicial da planta/peças do armazém/catalisadores
- Custos de mão de obra pré-operacional.

**PESQUISA E DESENVOLVIMENTO:** Os pesquisadores concluíram que a interação entre o status do processo de P&D e da definição do projeto exerce um efeito cumulativo sobre o aumento de custo. Esse efeito foi identificado pelo uso de um coeficiente diferente para a variável de DEFINIÇÃO DO PROJETO se a tecnologia do processo ainda estava nas fases de pesquisa e desenvolvimento no momento da estimativa.

### Geral

Cada variável exerceu um efeito independente e estatisticamente significativo sobre o aumento de custos, pôde racionalmente ser considerada de causalidade e juntas foram responsáveis por 83% da variância total na amostragem do conjunto de dados de aumento de custos (riscos específicos do projeto provavelmente explicam boa parte do valor residual). O modelo final assume a seguinte forma:

$$\text{CRESCIMENTO DE CUSTOS} = a - X1 * \text{PCTNEW} - X2 * \text{IMPUREZA} - X3 * \text{COMPLEXIDADE} + \dots \\ \dots + X4 * \text{ABRANGÊNCIA} - X5 * \text{DEFINIÇÃO DO PROJETO} \text{ (ou } - X6 * \text{DEFINIÇÃO DO PROJETO se estiver em P\&D)}$$

Onde:

28 de dezembro de 2011

a = intercepção

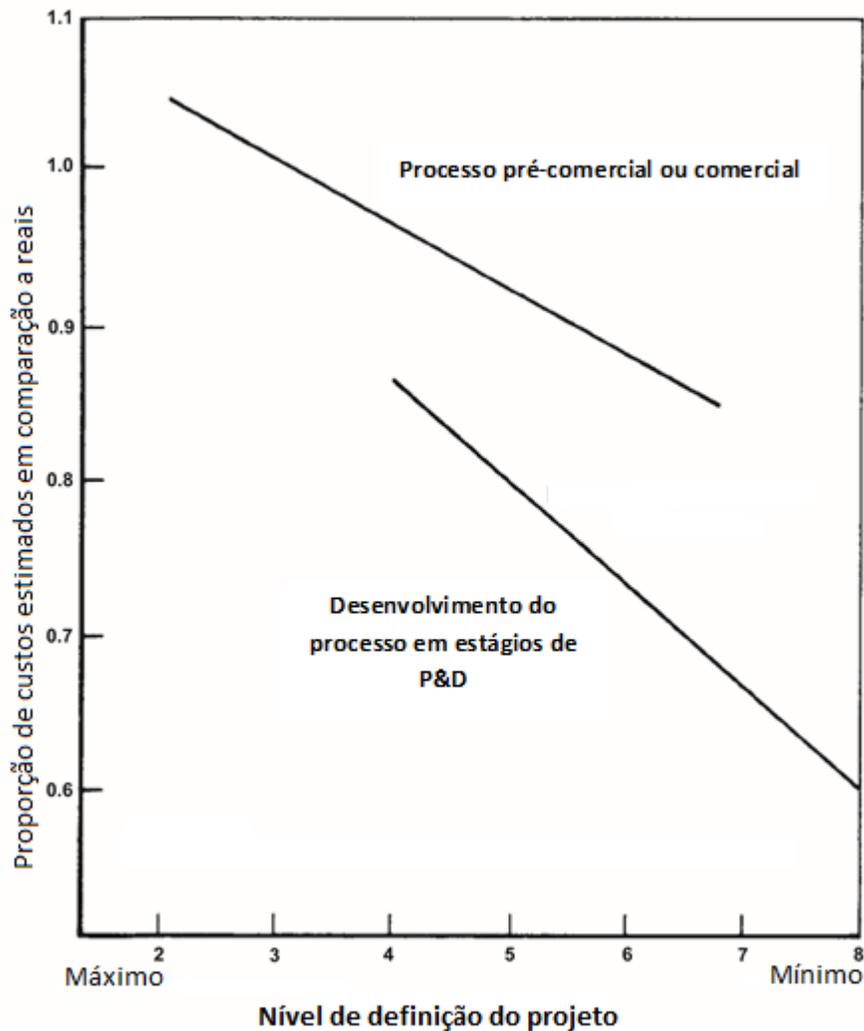
X = coeficientes estimados de regressão

CRESCIMENTO DE CUSTOS = custos da estimativa-base (excluindo contingência) divididos pelos custos finais reais (normalizados para inflação e grande alteração de escopo).

Embora a maioria dos estimadores calcule os fatores de aumento de custos como custos reais/estimados, os pesquisadores chegaram à conclusão que o inverso apresentava uma distribuição mais normal conforme apropriado para a análise de regressão. Mais informações sobre tais variáveis podem ser encontradas na ferramenta de exemplos.

O modelo geral de aumento de custos é demonstrado graficamente na Figura 1 para conjunto de dados de vários níveis de definição de projeto. Lembre-se que o crescimento de custos demonstrado aqui é expresso como na estimativa/realidade (menos aumento de custos no topo do gráfico) e a definição melhora com uma classificação mais baixa (menos definição à direita do gráfico).

28 de dezembro de 2011



**Figura 1. Modelo RAND de Crescimento de Custos vs. Definição de Projeto**  
(Utilizado com permissão da RAND Corporation)

#### Faixa

O modelo RAND não fornece um modelo específico para a faixa de precisão. Entretanto, os usuários podem consultar os métodos apresentados na prática recomendada 42R-08 *Análise de Riscos e Determinação de Contingência Utilizando Estimativa Paramétrica* para obter informações sobre como estimar a faixa usando o conceito de contingência como desvio padrão. Outra abordagem usada tem sido a incorporação do modelo RAND à uma simulação de Monte Carlo, substituição de parâmetros com distribuições com valores mínimos e máximo conforme os demonstrados no relatório da RAND e usar o resultado como uma representação da faixa em termos de percentagens.

28 de dezembro de 2011

## MODELO DE CRONOGRAMA DE CONSTRUÇÃO RAND (1986)

### Contexto

O modelo RAND de cronograma de construção de 1986, patrocinado por um programa do setor, aprimorou o banco de dados de plantas industriais pioneiras da RAND de 1981 com informações complementares sobre cronograma e direcionadores de risco de cronograma (a pesquisa também examinou o tempo “start-up” das operações, o que não está incluído na presente PR). Este estudo reconheceu que, a partir da perspectiva de lucratividade, os atrasos no cronograma podem exercer um impacto maior do que excedentes de custos de capital porque atrasos adiam as vendas de produtos.

O estudo da RAND sobre cronogramas (como no caso do estudo sobre aumento de custo) utilizou técnicas de análise com regressão para descobrir motivadores de atrasos no cronograma de construção. Um conjunto de dados provenientes de 47 projetos com dados apropriados foi usado no modelo final de cronograma. A pesquisa examinou duas mensurações de atraso de cronograma; meses de atraso (duração real - duração planejada) e atraso como um percentual da duração planejada (atraso em meses/meses planejados).

O relatório da RAND apresentou um modelo com o maior significado estatístico. O estudo concluiu que as seguintes características de projeto são as mais significativas em termos de atraso de cronograma:

### Definição de Projeto

Esta é a mesma medida utilizada no modelo de Custo RAND descrito anteriormente.

### Sobreposição Planejada de Engenharia e Construção (apenas em projetos pioneiros)

Este valor é medido em meses. A hipótese era que apressar-se para começar a obra antes que suficientes trabalhos de engenharia tenham sido concluídos estaria correlacionado a atrasos de construção. Concluiu-se que isso era especialmente verdadeiro em projetos com plantas industriais pioneiras e quando o paralelismo era mais longo do que oito meses.

### Matérias-Primas Sólidas não Refinadas

Tal valor é expresso com uma pergunta do tipo sim ou não. Caso a planta processe matérias-primas não refinadas sólidas ou semi-sólidas como minério e alcatrão, isso é acrescentado ao atraso do cronograma.

### Geral

O modelo é muito simples com o nível de definição do projeto sendo a única variável que afeta todo o projeto. A hipótese é que, diferentemente de custos, o cronograma pode ser recuperado por meio de ações de mitigação adotadas pela administração, portanto, reduzindo o atraso que poderia ocorrer (embora essas ações acarretem custos que não podem ser recuperados). Cada variável exerceu um efeito independente e estatisticamente significativo sobre o atraso do cronograma, pôde racionalmente ser considerada de causalidade e juntas foram responsáveis por 65% da variância total na amostragem do conjunto de dados de atrasos do cronograma (riscos específicos do projeto provavelmente explicam boa parte do valor residual). O modelo final assume a seguinte forma:

28 de dezembro de 2011

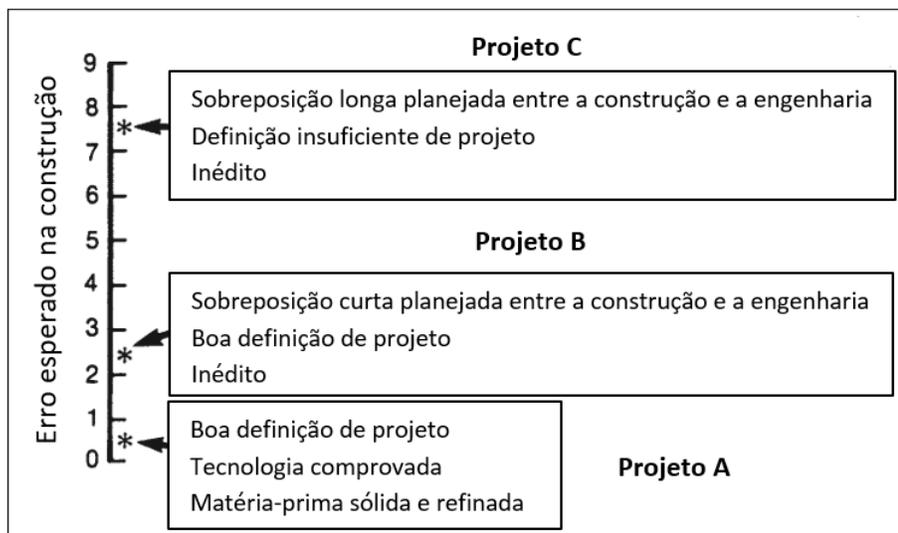
ERRO NO CRONOGRAMA DE CONSTRUÇÃO (em meses) =  $a + X1*DEFINIÇÃO DE PROJETO$  se for uma planta industrial pioneira + ... +  $X2*SOBREPOSIÇÃO + X3$  se for matéria-prima sólida não refinada

Onde :

a = intercepção

X = coeficientes estimados de regressão

O resultado do modelo geral de atraso no cronograma de construção é apresentado na figura 2. Este resultado está demonstrado em meses.



**Figura 2. Ilustração da RAND de Resultados de Modelo de Atraso de Construção**  
(Utilizado com permissão da RAND Corporation)

O estudo também reportou duas conclusões adicionais expostas abaixo que, com cautela, permitem que o modelo seja usado em projetos nos quais a duração de construção seja significativamente diferente da média do conjunto de dados do estudo – de 18,4 meses – e também para prever o atraso na duração geral da “execução” (ou seja, do início da engenharia detalhada até a conclusão mecânica).

- Em primeiro lugar, o estudo afirma que o atraso de cronograma em meses e como um percentual da duração planejada está “estritamente relacionado” (coeficiente de correlação = 0,88) aos valores da média de atraso de 3,3 meses, duração planejada de construção de 18,4 meses e atraso de 17,7% como percentual de duração planejada. Com base nesta observação, o usuário pode razoavelmente expressar o resultado do modelo em termos de percentual de atraso (ou seja, Atraso de % = Resultado do Modelo em Meses/ Média do Conjunto de Dados em 18,4 Meses). O percentual pode ser aplicado a projetos de durações diferentes.

28 de dezembro de 2011

- Em seguida, o estudo apresentou mais detalhes sobre a correlação entre durações de engenharia e de construção (coeficiente de correlação = 0,72) e afirmou que “em muitos casos, o tempo planejado de construção pode ser previsto a partir do tempo planejado de engenharia”. Portanto, é razoável supor que o atraso de cronograma previsto para construção, expresso como um percentual da duração planejada, também será aplicado ao atraso para execução.

## MODELO DE HACKNEY

### Contexto

John Hackney é reconhecido como o primeiro autor a publicar (em 1965) um modelo paramétrico baseado empiricamente para aumento de custo, reconhecendo a importância do nível de definição do projeto e da tecnologia como grandes fatores de risco no momento da autorização do financiamento do projeto. John Hackney foi consultor do trabalho posterior da RAND Corporation sobre o qual falamos anteriormente e continuou a aperfeiçoar seus próprios métodos conforme obteve mais informações após a publicação do relatório da RAND. Há muito tempo que engenheiros de custos reconhecem que um dos maiores riscos que gera desvios em comparação às estimativas iniciais era a dificuldade de antecipar, no momento da estimativa, todas as instalações físicas, elementos essenciais, características do local e do mercado, além das práticas exigidas para realizar o projeto. Hackney, utilizando dados reais extraídos de sua vasta experiência no setor com companhias contratantes e contratadas, desenvolveu uma forma sistemática de modelar a relação de risco de definição e aumento de custos. A presente PR reflete esse modelo e o índice de classificações de definição estipulados por volta de 1990, conforme foram incluídos na segunda edição de seu texto *Controle e Gestão de Projetos de Capital*, publicado em 1992 (e republicado pela AACE em 2002).

Os fatores de riscos incluídos no esquema de classificação de Hackney são muito mais amplos do que os que constam do modelo RAND porque nem todos os fatores foram testados estatisticamente (apenas a classificação geral resultante foi testada). O modelo de estudo RAND inclui apenas itens que passaram por testes de importância estatística para o conjunto de dados do estudo. Portanto, os itens individuais da lista de Hackney são mais especulativos. Porém, há um consenso geral que se os itens na lista de Hackney não estiverem bem definidos para um projeto, haverá aumento de riscos. Os detalhes de Hackney acrescentam interesse e compreensão à breve lista de fatores RAND; assim, considerou-se que seria válido fornecer os dois modelos para que os usuários levassem em conta. O mais importante é que os dois modelos produzem resultados semelhantes de aumento de custo.

### Classificação de Definição

Para modelar o aumento de custo e sua relação com o estado de definição do projeto no momento que uma estimativa é elaborada, é necessário estabelecer a classificação quantitativa para o status da definição. Como uma abordagem para tal problema, Hackney desenvolveu uma lista de verificação para definição de projeto com seis categorias principais de informações do escopo. Essas categorias, conforme detalhadas no modelo de planilha em anexo, estão resumidas a seguir (os usuários sempre devem consultar o texto de origem para obter definições completas):

### Base Geral do Projeto

Essa categoria originalmente incluía três elementos principais: definição de produto e de subproduto; definição de matérias primas e definição de histórico do processo (isto é, o estado de desenvolvimento do processo ou o grau de novidade tecnológica do processo - que é um importante fator de risco). Em 1990, foi acrescentada uma

28 de dezembro de 2011

categoria para a definição de “utilidades e serviços”. Ainda, um “fator de propriedade” foi acrescentado, de forma a refletir a tendência de que projetos do setor público (ou de economia mista) vivenciam maior aumento de custos.

#### Desenho do Processo

Essa categoria inclui quatro elementos principais: balanço de fluxos, principais tipos de equipamentos, materiais de construção e quem revisou o desenho básico. No que diz respeito às revisões, tornou-se mais evidente que o envolvimento da equipe (incluindo operações e construção) na determinação e aprovação do escopo é importante para reduzir os riscos.

#### Informações sobre o Local

Esta categoria inclui um grande número de elementos que dizem respeito à definição do ambiente e condições do local. Entre elas estão: pesquisas (incluindo do solo), estudos sobre o estado de equipamentos e suportes reutilizáveis, edificações, utilidades e melhorias no pátio, meteorologia e status das regulamentações locais. Em 1990, itens foram acrescentados ou reavaliados para abordar condições eólicas ou relativas a terremotos, dando mais ênfase a condições ambientais, de saúde e segurança e revisão do local pelo grupo de construção.

#### Desenho de Engenharia

Esta categoria inclui um grande número de elementos relativos ao status da engenharia básica. Entre eles estão *layouts*, diagramas lineares, equipamentos, edificações, melhorias no pátio, controle riscos, revestimentos e revisão de engenharia pelo time de pesquisa e operações. Em 1990, um item foi acrescentado para abordar “centrais e computadores de controle”, incluindo *hardware* e *software*, já que tais elementos haviam se tornado mais complexos com o passar do tempo. Muitos outros itens foram ligeiramente modificados. Novamente, aumentou-se a ênfase na revisão de engenharia acrescentando a revisão por parte de autoridades regulatórias e de construção.

#### Desenho Detalhado

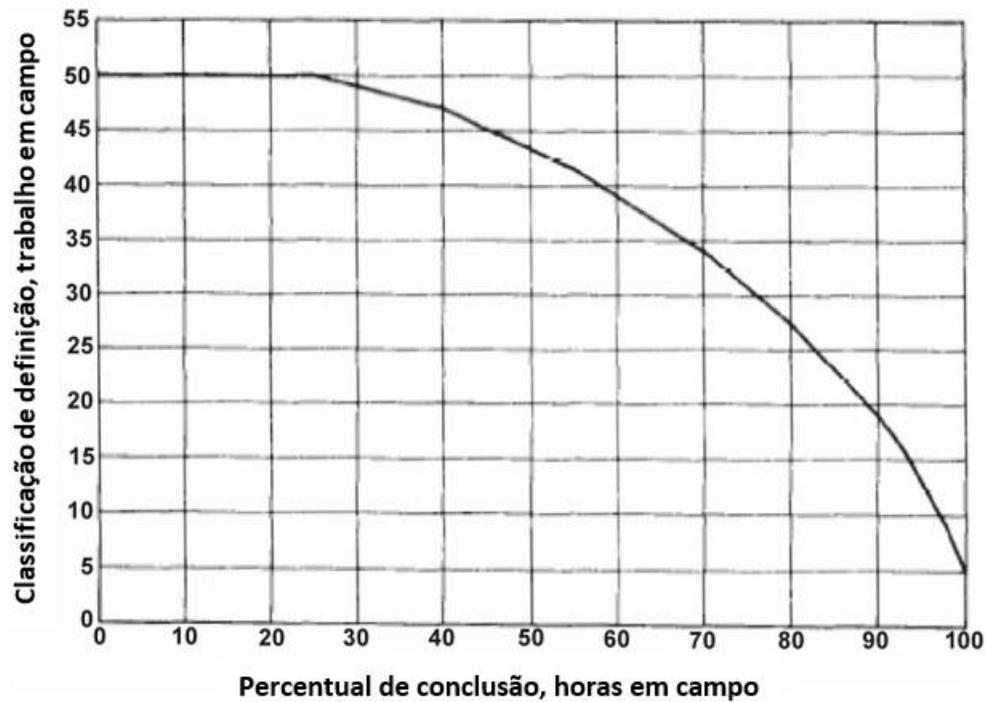
Esta categoria inclui um número limitado de elementos relativos a desenhos de detalhamento e suas revisões. O peso desses itens é razoavelmente limitado porque a maioria dos fatores de riscos já havia sido abordada antes do início do desenho detalhado. Como no caso do desenho de engenharia, há um aumento na ênfase sobre a revisão da “construção” porque concluiu-se que dificuldades são, muitas vezes, detectadas pela revisão dos desenhos detalhados.

#### Desempenho em Campo

Este fator é uma constante nas estimativas elaboradas antes da autorização do projeto, quando nenhum trabalho de campo tiver sido feito. Entretanto, Hackney imaginou que esse modelo de aumento de custos seria reaplicado durante a execução do projeto como parte da gestão contínua de riscos. Como a maior parte do escopo anterior e de riscos de definição de desenho tornou-se nula ou contestável durante a execução da construção, o desempenho em campo irá representar a maior parte do risco residual sistêmico.

A Figura 3 ilustra o padrão recomendado de redução para a diminuição dos 50 pontos para “desempenho em campo” conforme o avanço do percentual de conclusão de trabalho em campo. Esse procedimento determina um ritmo lento de redução no início do período de construção e um ritmo mais rápido apenas nas fases de encerramento do projeto. Dessa forma, fica claro que, até que a mão de obra chegue perto de seu ápice e profissões mais especializadas entrem no trabalho, o desempenho não será bem compreendido e, portanto, existe uma necessidade de manter fundos de contingência para desempenho nesse período inicial.

28 de dezembro de 2011



**Figure 4. Utilização da Classificação de Desempenho em Campo (Hackney)**

#### Classificação de Cada Item

Na lista de verificação das classificações, cada item recebeu um peso máximo para indicar o grau geral potencial de incerteza produzida no projeto global caso aquele item específico seja completamente desconhecido ou indefinido. Definição completa e total ou a não aplicabilidade do item é indicada por zero. Embora a atribuição de pesos seja altamente subjetiva, eles representam o tipo de impacto que pode ser esperado se o item em questão fosse completamente mal interpretado. Ao ter um peso atribuído, valores mais elevados são dados a itens como histórico do processo e informações sobre matérias primas, porque a falta de definição a respeito de tais itens pode exercer os efeitos mais sérios sobre os custos do projeto. Outros itens, tais como desenho de esgoto sanitário, por exemplo, recebem um peso baixo porque em projetos de processos eles têm um impacto relativamente menor. Essa atribuição de pesos normalmente está em consonância com as conclusões da RAND, já que John Hackney voltou a seu modelo inicial e o atualizou após o estudo ter sido divulgado.

Quando as informações para um item ainda não tiverem sido estabelecidas, a classificação máxima é lançada na lista de verificação. Caso o desenho ou outro trabalho de definição seja parcialmente concluído, a classificação de definição do item é proporcionalmente reduzida do valor máximo. A experiência levou à conclusão que a falta de definição de itens na seção “base geral do projeto” criará incertezas no trabalho de desenho seguinte. Portanto, a classificação dessa seção não é utilizada como um item adicional, mas sim para estipular um multiplicador para a soma das classificações das outras cinco seções.

28 de dezembro de 2011

O uso da lista de verificação exige um alto grau de discernimento e as opiniões sobre a classificação de itens específicos irão divergir. Entretanto, Hackney descobriu que quando indivíduos razoavelmente experientes classificam um trabalho separadamente, seus resultados de pontuação normalmente coincidem dentro de um intervalo de +/- 10 por cento. Dessa forma, a classificação de definição pode ser usada como um indicador quantitativo valioso do grau no qual o projeto está “preso” em um determinado estágio de desenvolvimento. Além disso, a consideração de classificações individuais na lista de verificação detalhada revela os pontos nos quais a falta de definição representa a maior ameaça potencial. Esses itens podem receber prioridade para uma melhor definição do projeto.

#### Base de Provisões para Contingência

As provisões para contingência são estabelecidas para compensar pelas incertezas que podem ser geradas por todos os fatores discutidos anteriormente. O guia mais confiável para estipular provisões adequadas para contingência é a experiência adquirida de projetos anteriores. Para organizar e analisar essa experiência, John Hackney tabulou o custo real em comparação ao custo estimado em todas as estimativas de todos os projetos da companhia registrados até aquele momento. Para estabelecer uma base comum de dados, todas as provisões de contingência que já estavam nas estimativas foram eliminadas. Correções foram feitas para compensar alterações válidas do escopo dos projetos, tais como mudanças na capacidade da planta ou tipo de produto que era feito antes da elaboração da estimativa.

Quando os *overruns* percentuais das estimativas são confrontados com a classificação da definição no momento da elaboração da estimativa, os pontos apresentam uma dispersão considerável, mas a dominância da relação entre as classificações da definição e *overruns* fica logo aparente. A conclusão inevitável é que as estimativas feitas nas fases bem iniciais de um projeto, enquanto a pesquisa e o desenvolvimento ainda estão em andamento e antes que a definição do projeto esteja concluída (e especialmente enquanto pesquisa e desenvolvimento ainda estão sendo feitos) não são comprovadamente de alta precisão porque o projeto que está sendo estimado raramente – ou nunca – é o mesmo projeto que acaba sendo desenvolvido, apesar de estar dentro do escopo geral aprovado pela empresa.

Os dados na Figura 4, que incluem informações de aproximadamente 30 projetos de diversas companhias com as quais John Hackney teve experiência, indicam que existe uma tendência de subestimação de custos de projetos parcialmente definidos. Em média, exigências adicionais são descobertas à medida que o desenho avança rumo à definição completa. Raramente descobre-se que aspectos incluídos nas estimativas iniciais eram desnecessários.

28 de dezembro de 2011

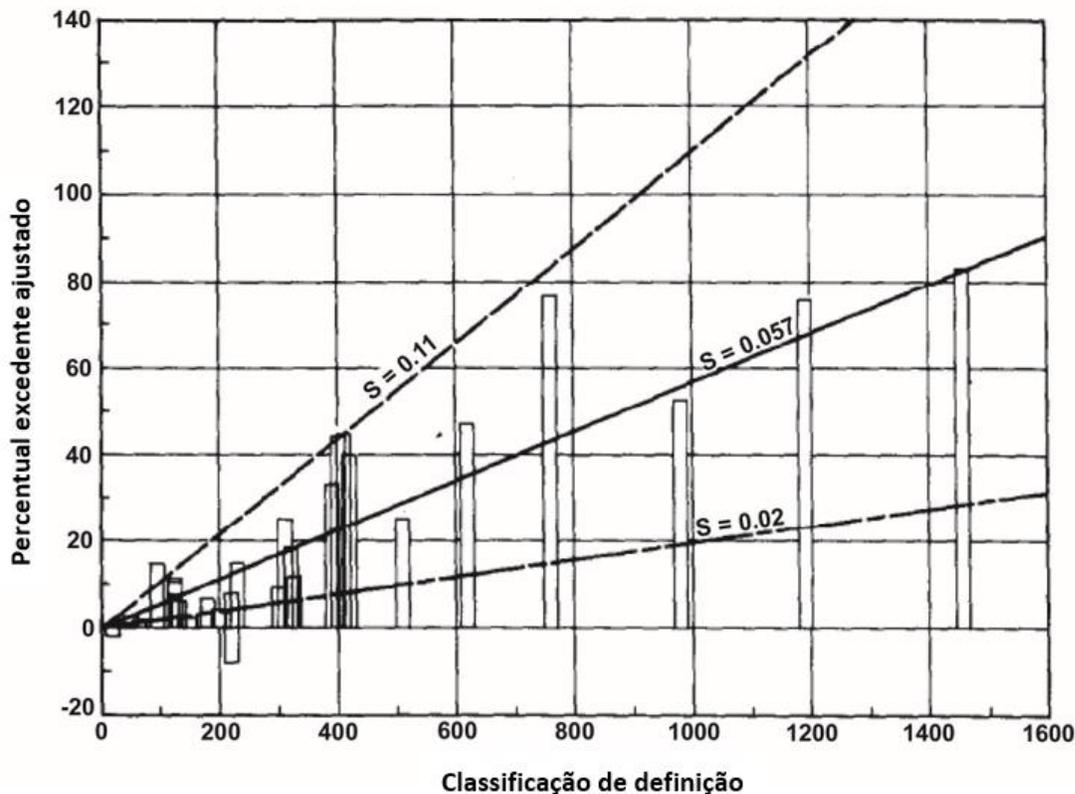


Figura 4. Modelo de Hackney de Crescimento de Custo Versus Classificação de Definição (Hackney, 1997)

#### Cálculo de Provisões para Contingência

A Figura 3 mostra a relação do aumento de custo e definição de projeto com a classificação de definição do projeto no eixo X e *overrun* percentual ajustado ou excesso de custo em comparação a estimativas mínimas, sem provisões para contingência no eixo Y. Três linhas foram traçadas; a linha intermediária representa a inclinação e metade dos topos das barras está abaixo dele e a outra metade está acima. As linhas superiores e inferiores da inclinação representam a faixa de precisão de 80% na qual 10% dos topos das barras estão acima da inclinação superior e 10% dos topos das barras estão situados abaixo da inclinação inferior.

Se o valor de “S” para a inclinação inferior (0,02) for aplicado à classificação de definição para um projeto em um determinado estágio para seu desenvolvimento, o resultado é a **provisão para itens não listados**. Muito raramente uma contingência menor do que essa será exigida. Se o nível intermediário de “S” (0,057) for aplicado à classificação de definição para um projeto em um determinado estágio para seu desenvolvimento, o resultado é o percentual de **igual oportunidade para a provisão de contingência** que acrescido à estimativa-base sem provisões de contingência, irá fornecer uma chance com probabilidades iguais de *overrun* ou *underrun* custos da estimativa.

A distribuição estatística de dados históricos também pode ser confirmada em termos genéricos fazendo comparações com as conclusões do estudo da RAND. É recomendada a aferição dos dados de sua própria companhia. A metodologia pode ser utilizada com mais precisão se ela refletir a própria experiência da companhia bem como a experiência vivida por outros.

28 de dezembro de 2011

### Cálculo da Faixa de Precisão Histórica

John Hackney desenvolveu informações sobre as faixas a partir de seus próprios dados. Para fins de cálculos estatísticos, é desejável trabalhar com dados distribuídos normalmente. Distribuições próximas da normal são obtidas se faixas de precisão são convertidas em termos de desvio de custos reais das estimativas, do desvio de estimativas de custos reais (ou seja, estimado/real). Quando os dados são invertidos dessa forma, as faixas de precisão sobre a estimativa de igual oportunidade ou mediana tornam-se “equilibradas”, ou seja, o lado positivo da faixa apresenta aproximadamente o mesmo valor absoluto que o lado negativo.

Para abordar o fato que, em seus dados, sofreu inflação desde o momento da elaboração da estimativa até a conclusão real, Hackney fez um ajuste para excluir esse fator dos dados. A fórmula de correção para prever a precisão está disposta na ferramenta de Hackney em anexo baseada em índices típicos de inflação.

Os cálculos estatísticos usados por Hackney são apresentados integralmente na planilha de exemplo. Mais informações podem ser encontradas nos textos e documentos técnicos da autoria de John Hackney citados nesta prática recomendada. A faixa de precisão de custos do projeto calculada desta forma é um intervalo equilibrado e normal de desvios de percentagem de estimativas com oportunidades iguais oriundo dos custos reais. No trabalho do projeto, no entanto, é rotineiro pensar em *overruns* como desvios percentuais do custo real das estimativas. Para apresentar dados nesses termos, é necessário inverter a faixa de desvios de estimativas dos riscos reais de forma a obter uma faixa de desvios dos custos reais das estimativas, e a ferramenta realiza essa inversão.

É útil usar os 80% de confiança ou a faixa de 0,8 como medida de precisão de estimativa porque ela é relativamente simples e um conceito estatisticamente viável que a maioria das pessoas considera como uma faixa prática. Um décimo das estimativas ficará fora dessa faixa, no lado mais alto e um décimo no lado baixo. Entretanto, algumas pessoas preferem citar resultados na base de desvio padrão. Nesse caso, a faixa de 0,8 para dados distribuídos normalmente é uma faixa de desvios padrão de 1,28 (ou seja, o desvio padrão dos dados pode ser calculado dividindo os valores de faixa de 0,8 em percentual do real por 1,28). A ferramenta fornece faixas das duas formas.

### Alternativas à Provisão de Contingência

As alternativas à provisão de contingência são calculadas na planilha anexa como percentuais da estimativa-base e também em milhões de dólares (ou a moeda base da estimativa). Efeitos cambiais não estão incluídos na contingência. As faixas e provisões de contingência são as seguintes:

**A estimativa com Provisões Mínimas e *Overrun* de 90%** pode ser usada como o “valor de orçamento” mínimo para o controle de custo do projeto como uma meta possível, mas não muito realista, já que somente um em cada dez projetos registrados cumpriram esse objetivo. Atingir essa meta pode ser um objetivo da equipe do projeto, mas apenas quando a cultura da companhia não é punitiva, já que a equipe provavelmente não irá atingir esse objetivo.

**A estimativa com Oportunidades Iguais de Provisão de *Overrun* de 50%** será a melhor estimativa versátil que pode ser fornecida até que a definição do projeto possa ser melhorada. Supondo um apetite de risco imparcial por parte da administração, esse valor desse ser apresentado para aprovação dos órgãos corporativos ou outras autoridades de gestão de despesas. A organização responsável pelo desempenho do projeto deve ser autorizada a gastar até o limite de tal valor sem consultar a autoridade provedora dos recursos a menos que haja uma alteração no escopo.

28 de dezembro de 2011

A **estimativa com Provisões a Não Serem Ultrapassadas e Overrun de 10%** pode ser usada como um valor prático de pior cenário durante os estudos de escopo e análise de lucratividade. O limite superior será ultrapassado apenas uma vez em cada dez.

## CONCLUSÕES

Esta prática recomendada resume três modelos usados no setor: dois para a previsão de aumento de custos do projeto e para a estimativa de contingência e faixas de precisão para riscos sistêmicos, e um para a previsão de atraso de cronograma de construção e de execução. Os modelos RAND e de Hackney são baseados em dados empíricos e em pesquisas que demonstraram que estimativas de custos e de cronograma para projetos autorizados com base em definição fraca de projeto e/ou usando tecnologias que não tenham sido comercialmente comprovadas são predominantemente baixas. Modelos do tipo abordados nesta PR podem ser usados para lidar com essa tendência.

Os conceitos e modelos são um tanto complexos, por isso é importante que os usuários consultem os materiais de referência antes de aplicar as ferramentas. Também leve em conta sua faixa de aplicabilidade. Adotadas literalmente, as ferramentas são excelentes para fins educacionais permitindo que o usuário veja e obtenha, de forma interativa, um entendimento dos efeitos causados por diversos fatores definidores de riscos. Antes de usar as ferramentas para elaborar estimativas reais de contingência de projetos, é recomendável que os usuários façam uma aferição das ferramentas de acordo com sua própria experiência em relação a projetos.

## ANEXOS

Para obter exemplos de modelos, consulte a PR 43R-08\_Models.xls (arquivo MS Excel) 

## REFERÊNCIAS

1. Hackney, John W. (Kenneth H. Humphreys, Editor), *Control and Management of Capital Projects, 2nd Edition*, AACE International, Morgantown, WV, 2002.
2. Hackney, J. W., *Applied Contingency Analysis*, AACE Transactions, AACE International, Morgantown, WV, 1985.
3. Hackney, J. W., *Determining Overrun Probabilities*, AACE Transactions, AACE International, Morgantown, WV, 1986.
4. Hackney, J. W., *Contingency Allowances and Overrun Probabilities*, Paper B-3, Congress Papers, Ninth International Cost Engineering Congress, Oslo, agosto de 1986.
5. Hackney, J. W., *Error Analysis of Estimating Systems*, AACE Transactions, AACE International, Morgantown, WV, 1969.
6. Hackney, J. W., *Management of Estimate Accuracy*, Transactions of the Norwegian Association of Cost and Planning Engineers, Oslo, março de 1980.
7. Hackney, J. W., *Capital Cost Risk Analysis for Hazardous Waste Remedial Projects*, Proceedings, International Society of Parametric Analysts, Baltimore-Washington Workshop, 17 de maio de 1988.
8. Horvath, R. E., *Pioneer Plants Study User's Manual*, Publication R-2569/I-DOE, RAND Corporation, junho de 1983.
9. Merrow, E. W. et al., *Understanding Cost Growth and Performance Shortfalls in Pioneer Process Plants*, Publication R-2569-DOE, publicação da RAND para o Departamento de Energia dos EUA, 1981.

28 de dezembro de 2011

10. Myers, Christopher W., and Ralph F. Shangraw, Understanding Process Plant Schedule Slippage and Startup Costs, (R-3215-PSSP/RC), RAND Corporation, 1986.

## COLABORADORES

*Declaração de isenção de responsabilidade: As opiniões expressas na presente prática recomendada são dos autores e colaboradores e não refletem necessariamente as posições de seus empregadores, salvo disposição em contrário.*

Rashmi Prasad (Autor)

Alan J. Chilcott, CCE

John K. Hollmann, PE CCE CEP

Charles J. Pospisil

Dr. Maarten S.A. Vrijland